



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

JOSÉ OTÁVIO DE MORAES BORBA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB GRAMÍNEAS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO NO BREJO PARAIBANO**

AREIA - PB
junho de 2019

JOSÉ OTÁVIO DE MORAES BORBA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB GRAMÍNEAS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO NO BREJO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal da
Paraíba como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

AREIA-PB
junho de 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B726a Borba, Jose Otavio de Moraes.

Atributos Físicos de um Latossolo sob Gramíneas em
Experimento de Longa Duração no Brejo Paraibano / Jose
Otavio de Moraes Borba. - Areia, 2019.
95f. : il.

Orientação: Flávio Pereira de Oliveira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Pastagem. 2. Indicadores de Qualidade do Solo. 3.
Manejo do Solo. 4. Brachiaria. I. Oliveira, Flávio
Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

JOSÉ OTÁVIO DE MORAES BORBA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB GRAMÍNEAS EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO NO BREJO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal da
Paraíba como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Orientador

Adriana Ferreira Martins, Dra.
Pós-Doutoranda - PNPB/PPGCS/UFPB
Examinador

Danillo Dutra Tavares, Msc.
Doutorando do PPGCS/UFRPE
Examinador

DEDICATÓRIA

A Deus, meus pais, irmãos e toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter permitido essa conquista, dando forças para superar as adversidades;

A Universidade Federal da Paraíba pela oportunidade de fazer o curso;

Aos meus pais e irmãos, pelo incentivo, amor e apoio incondicional;

A minha avó Libanita de Albuquerque Moraes, por tudo que fez e faz por mim, minha heroína;

Ao meu avô Severino de Moraes Filho, que desde criança me aconselhou a ser um homem de bem, e que sempre torceu para seu neto ser um “Doutor”, in memoriam;

A minha prima Lorena de Moraes Maroja Guedes, que me ensinou que a vida precisa ser vivida intensamente, in memoriam;

A todos os familiares que torceram por essa vitória;

Ao professor Flávio Pereira de Oliveira, pela orientação, apoio e confiança;

Ao professor Ivandro de França da Silva que além dos bons conselhos, desenvolveu o experimento do presente estudo;

Ao laboratorista Robeval Diniz Santiago e sua esposa Maria Adriana da Silva Santiago, por terem me acolhido como um filho, Natália Diniz Silva Santiago por sua paciência e conselhos e familiares por terem me tornado um membro;

Aos membros do laboratório da Física do Solo, principalmente Pedro Luan Ferreira da Silva, que levarei para a vida como exemplo de amizade, e Danilo Dutra Tavares, exemplo de simplicidade e perseverança;

Agradeço pelos amigos feitos na universidade, Belchior Trigueiro da Silva, Tales Emanuel Duarte Santos e Igor Gabriel dos Santos Oliveira Botelho;

A todos que direta e indiretamente ajudaram em minha formação.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito e nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	03
2.1. Geral	03
2.2. Específico.....	03
3. HIPÓTESE.....	03
4. REVISÃO DE LITERATURA	04
4.1. Característica des Gramíneas do gênero <i>Brachiaria</i>	04
4.1.1. <i>Brachiaria Decumbes</i>	05
4.1.2. <i>Brachiaria Brizantha</i>	05
4.1.3. <i>Brachiaria Humidicola</i>	05
4.1.4. <i>Brachiaria Brizantha</i> MG5 cv. Vitória.....	06
4.2. Efeito da utilização de gramíneas na melhoria dos indicadores físicos e qualidade do solo.....	06
4.3. Latossolo	07
5. MATERIAL E MÉTODOS	08
5.1. Caracterização da área de estudo.....	08
5.2. Delineamento experimental e variáveis analisadas.....	09
5.3. Amostragem de solo.....	10
5.4. Variáveis analisadas.....	11
5.5.Caracterização física do solo.....	11
5.5.1. Análise granulométrica do solo.....	11
5.5.2. Densidade do solo e grau de compactação.....	12
5.5.3. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e capacidade de aeração do solo.....	12
5.5.4. Estabilidade de agregados	13
5.5.5.Condutividade hidráulica saturada.....	14
5.5.6. Intervalo de água disponível no solo	14
5.5.7. Resistência a penetração.....	15

5.5.8. Determinação do carbono orgânico total e estoque de carbono.....	15
5.5.9. Análise estatística dos dados.....	16
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
6.1. Atributos físicos e indicadores de qualidade do solo.....	17
6.2. Estabilidade de agregados do solo.....	31
6.3. Resistência mecânica à penetração do solo.....	34
6.4. Carbono orgânico total e estoque de carbono do solo.....	38
6.4.1. Carbono orgânico total.....	38
6.4.2. Estoque de carbono.....	43
6.5. Correlação de Pearson (r) para atributos físicos e químicos do solo.....	49
6.6. Análise de componentes principais.....	57
7. CONCLUSÕES.....	66
8. REFERÊNCIAS.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Caracterização física de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração no brejo da Paraíba. Areia – PB.....	10
Tabela 2.	Caracterização química e de fertilidade de Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração no brejo da Paraíba. Areia - PB.	11
Tabela 3.	Atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.....	18
Tabela 4.	Capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e intervalo de água disponível (θ_{AD}) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.....	28
Tabela 5.	Diâmetros médios ponderados de agregados secos (As) e úmidos (Au) e índice de estabilidade de agregados (IEA) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.....	34
Tabela 6.	Umidade atual do solo para ensaio de resistência a penetração em Latossolo sob diferentes sistemas de uso em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.....	39
Tabela 7.	Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,0-0,10 m.....	49
Tabela 8.	Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,10-0,20 m.....	52
Tabela 9.	Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,20-0,30 m.....	55
Tabela 10.	Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa	

	duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,0-0,10 m.....	57
Tabela 11.	Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,10-0,20 m.....	60
Tabela 12.	Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,20-0,30 m.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização da área experimental Chã de Jardim. Areia-PB.....	10
Figura 2.	Croquí da área experimental	11
Figura 3.	Valores de resistência à penetração em Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.....	37
Figura 4.	Carbono orgânico total (COT) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.A) 0,0-0,10 m, B) 0,10-0,20 m e C) 0,20-0,30 m.....	40
Figura 5.	Estoque de carbono (ESTC) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.A) 0,0-0,10 m, B) 0,10-0,20 m e C) 0,20-0,30 m.....	45
Figura 6.	Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,0-0,10 m.....	58
Figura 7.	Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,10-0,20 m.....	61
Figura 8.	Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,20-0,30 m.....	64

LISTA DE SIGLAS

AMG	Areia muito grossa
AG	Areia Grossa
AME	Areia Média
AF	Areia Fina
AMF	Areia Muito Fina
DP	Densidade de Partículas
Ds	Densidade do Solo
ADA	Argila Dispersa em Água
GF	Grau de Floculação
SB	Soma de Bases
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
MOS	Matéria Orgânica do Solo
BD	<i>Brachiaria decumbens</i>
BB	<i>Brachiaria brizantha</i>
BH	<i>Brachiaria humidicola</i>
BBMG5	<i>Brachiaria brizantha</i> MG5 vc Vitória
SC	Sem Cobertura
MT	Mata Nativa
TRAT	Tratamentos
PT	Porosidade Total
MA	Macroporosidade
MI	Microporosidade
CAS	Capacidade de Aeração do Solo
GC	Grau de Compactação
K _θ	Condutividade Hidráulica Saturada
θ _{CC}	Capacidade de Campo
θ _{PMP}	Ponto de Murcha Permanente
θ _{AD}	Água Disponível
CV	Coeficiente de Variação
DMPAu	Diâmetro Médio Ponderado de Agregados úmidos
DMPAs	Diâmetro Médio Ponderado de Agregados secos
IEA	Índice de Estabilidade de Agregados

BORBA, JOSÉ OTÁVIO DE MORAES. Atributos físicos de um Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração no brejo paraibano. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, junho de 2019. f. Trabalho de conclusão de curso. (Curso de Agronomia). Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

RESUMO

A substituição da vegetação nativa por pastagens perenes tem causado um desequilíbrio no agroecossistema, tendo como resultado a degradação desses solos, diante disso, a utilização de gramíneas tem se tornado uma alternativa para contornar esse problema. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar atributos físicos em Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração no Brejo Paraibano. O experimento foi instalado em área experimental do Centro de Ciências Agrárias em Areia-PB (6°58'12"S; 35°41'15"W e altitude de 620 m). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos mais um, e com quatro repetições. Os tratamentos foram os seguintes: T1-*Brachiaria decumbens* (BD), T2-*Brachiaria brizantha* (BB), T3-*Brachiaria humidicola* (BH), T4-*Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória (BBMG5), T5-sem cobertura (SC) e mata nativa (MT). Foram coletadas no centro de cada parcela amostras deformadas e indeformadas das camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade. As caracterizações físicas foram realizadas no Laboratório de Análises Física do Solo (LFS) da Universidade Federal da Paraíba, para a determinação das seguintes variáveis: granulometria, água disponível, ponto de murcha permanente, densidade do solo e de partículas, porosidades (total, macro, micro e de aeração), grau de compactação, diâmetro médio ponderado de agregados secos e úmidos, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica saturada, carbono orgânico, estoque de carbono, resistência à penetração, umidade atual. Realizou-se a análise de variância e as médias foram comparadas através do teste de Tukey, correlação de Pearson e análise de componentes principais, ao nível de ($p < 0,05$). O tratamento MT foi superior aos demais para a capacidade de campo na profundidade de 0,0-0,10 m, onde obteve 0,275 m³ m³ e para carbono orgânico total na camada de 0,20-0,30 m, onde obteve 37,9 g kg⁻¹. O tratamento BB foi superior aos demais tratamentos para água disponível na profundidade de 0,0-0,10 m, onde obteve 0,083 m³ m³, já para camada de 0,10-0,20 m o tratamentos SC obteve 0,095 m³ m³. O tratamento BB obteve os melhores resultados para o estoque de carbono na camada de 0,10-0,20 m, onde obteve 53,2 g kg⁻¹. Quanto os valores de correlação, na camada de 0,0-0,10 m, obteve-se MI/PT (0,90), θ_{CC}/D_s (-0,79), na camada de 0,10-0,20 m obteve-se GC/PT (1,00) e D_s/PT (-1,00), na camada de 0,20-0,30 m obteve-se θ_{AD}/θ_{CC} (0,89) e GC/PT (-1,00). Na análise de componentes principais, na camada de 0,0-0,10 m, a MO, CO e EC obtiveram os melhores resultados (0,483), e na camada de 0,10-0,20 m, o CO e MO obtiveram os melhores resultados (0,448), e na camada de 0,20-0,30 m a MA obteve o melhor resultado (-0,457). Após treze anos de implantação do sistema houve melhoria na θ_{CC} , θ_{AD} , COT e EC, e para as demais variáveis não houve melhoras significativas ao longo do tempo.

Palavras-chave: Pastagem, Indicadores de Qualidade do Solo, Manejo do Solo, *Brachiaria*.

BORBA, JOSÉ OTÁVIO DE MORAES. Physical attributes of an Latossolo (Oxisol) under grasses in a long-term experiment in the brejo paraibano. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, June 2019. f. Work completion of the course. (Agronomy Course). Supervisor: Prof. Dr. Flavio Pereira de Oliveira.

ABSTRACT

The substitution of native vegetation by perennial pastures has caused an imbalance in the agroecosystem, having as a result of the degradation of these soils, Besides that, the use of grasses has become an alternative to circumvent this problem. Thus, the objective of this work was to evaluate physical attributes in an Latossolo (Oxisol) under grasses in a long-term experiment in the Brejo Paraibano. The experiment was installed in the experimental area of Centro de Ciências Agrárias in sand-PB (6°58'12"S; 35°41'15"W and altitude of 620 m). The experimental design was randomized blocks, with five treatments one more, and with four replications. The treatments were the following: T1-*Brachiaria decumbens* (BD), T2-*Brachiaria brizantha* (BB), T3-*Brachiaria humidicola* (BH), T4-MG5 *Brachiaria brizantha* cv Victory (BBMG5), T5-without coverage (SC) and native forest (MT). Were collected in the center of each plot disturbed and undisturbed samples of layers of 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m depth. The physical characterizations were performed at the Laboratory of Soil Physics (LFS) of the Universidade Federal da Paraíba, for determining the following variables: Granulometry, available water, permanent wilting point, soil bulk density and particle porosity (total, macro, micro and aeration), degree of compaction, weighted average diameter of aggregates dry and wet, stability of aggregates, saturated hydraulic conductivity, organic carbon, the carbon stock, resistance to penetration, current moisture. The analysis of variance and the averages were compared by the Tukey test, Pearson correlation and principal components analysis, the level of ($p < 0.05$). The treatment MT was superior to the others to field capacity in the 0.0-0.10 m, where he obtained 0.275 m³ m³ and total organic carbon in the layer of 0.20-0.30 m, where was obtained 37.9 g kg⁻¹. The BB treatment was superior to the other treatments for water available in the 0.0-0.10 m, where was obtained 0.083 m³ m³, already for layer of 0.10-0.20 m the treatments SC obtained 0.095 m³ m³. The treatment BB obtained the best results for the stock of carbon in the layer of 0.10-0.20 m, where was obtained 53.2 g kg⁻¹. As the correlation values, in the 0.0-0.10 m layer, we obtained MI/PT (0.90), Qfc/Ds (-0.79), in the layer of 0.10-0.20 m obtained GC/PT (1.00) and DS/EN (-1.00), in the layer of 0.20-0.30 m obtained θ_{AD}/Q_{fc} (0.89) and GC/PT (-1.00). In the analysis of principal components, in the 0.0-0.10 m layer, the MO, CO and EC obtained the best results (0.483), and the layer of 0.10-0.20 m, CO and MO obtained the best results (0.448), and the layer of 0.20-0.30 m to MA has obtained the best result (-0,457). After 13 years of system implantation there was improvement in θ_{CC} , θ_{AD} , COT and EC, and the other variables were not significant over time.

Keywords: Pasture, Soil Quality Indicators, Soil Management, *Brachiaria*.

1. INTRODUÇÃO

A grande vocação do Brasil para o agronegócio tem alavancado cada dia mais a balança comercial do setor que, de acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, teve um aumento de 13% no ano de 2017 em relação ao ano anterior, sendo responsável pelo superávit da balança comercial brasileira (MAPA, 2019). Desse montante, 30% é representado pela pecuária (BEEFPOINT, 2016).

Uma característica importante da pecuária brasileira é ter a maior parte de seu rebanho criado a pasto (FERRAZ; FELÍCIO, 2010; DIAS-FILHO, 2013), que se constitui na forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os bovinos. Em decorrência dessa vocação da pecuária brasileira, advinda, principalmente, das características climáticas e da extensão territorial do País, o Brasil tem um dos menores custos de produção de carne do mundo (CARVALHO et al., 2009; FERRAZ; FELÍCIO, 2010; DEBLITZ, 2012; DIAS-FILHO, 2014).

De acordo com estimativas do último Censo Agropecuário Brasileiro, o de 2006 (IBGE, 2007), a área total de pastagens (naturais e plantadas) no Brasil é de 172,3 milhões de hectares. Entre 1975 e 2006, as áreas de pastagem do país diminuíram nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, aumentando apenas nas regiões Norte e Nordeste. No Brasil, como um todo, o crescimento das áreas de pastagem, desde meados da década de 1970, foi de apenas 4%. Consequência do aumento da taxa de lotação, como também o aumento das áreas agrícolas, de reflorestamento e de urbanização sobre as áreas originais de pastagem (DIAS-FILHO, 2014).

Esse baixo acréscimo na área de pastagem nesse longo período nos mostra a grande importância de manter as pastagens bem manejadas, evitando problemas de degradação do solo.

Os principais fatores de degradação das pastagens no Brasil são: escolha inadequada da forrageira, pois deve-se levar em consideração o tipo de solo e as condições climáticas locais; má formação inicial causada pelo uso de sementes de baixo valor cultural; ausência ou mau uso de práticas de conservação do solo, como preparo, correção da acidez ou adubação de

manutenção e sistemas de plantio (PERON; EVANGELISTA, 2004; ZANINE et al., 2005; DIAS FILHO, 2007; BRANDÃO, 2013). Estes mesmos autores acrescentam ainda as práticas culturais, tais como o uso do fogo; ausência ou uso inadequado de adubação, ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras, excesso de lotação animal e sistemas inapropriados de pastejo. E ainda fatores abióticos, como o excesso ou a falta de chuvas, a baixa fertilidade e a drenagem deficiente do solo.

A recuperação de áreas degradadas é possível, porém trata-se de um processo lento e difícil, sendo necessária a escolha de plantas com boa capacidade de crescimento e desenvolvimento nesses ambientes degradados, bem como o uso de práticas de manejo do solo que favoreçam sua recuperação. (ALVES et al, 2007).

Nos sistemas de manejo que utilizam plantas de cobertura, as gramíneas perenes apresentam ação agregante mais prolongada do que as leguminosas (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; PALADINI; MIELNICZUK, 1991; SILVA et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2005). Por ter um extenso sistema radicular concentrado na superfície, quando considerado longo efeito de tempo, as gramíneas resultam em valores altos de estabilidade dos agregados, principalmente para espécies perenes, pois as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados são bem pronunciadas (SILVA; MIELNICZUK, 1997; SANTIAGO; SILVA; ANDRADE, 1998; LONDE; BITAR, 2011).

São escassos na literatura trabalhos que avaliem melhorias na qualidade física do solo em experimentos de longa duração utilizando diferentes tipos de gramíneas como cobertura. No estado da Paraíba, nota-se uma carência de informações relacionadas à temática, principalmente em condições de brejo.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar atributos físicos de um Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração no brejo paraibano.

2.2 Específicos

- Caracterizar atributos físicos de solo relacionados à estrutura, como densidade do solo, estabilidade de agregados e espaços porosos do solo;
- Estudar a dinâmica de água no solo, especialmente se tratando de movimentação, retenção e disponibilidade de água no solo;
- Caracterizar o aporte de carbono relacionando ao estoque.

3. Hipóteses

- Um solo manejado sob diferentes gramíneas, ao longo do tempo, tem capacidade de apresentar melhorias significativas para atributos físicos após um período de 13 anos;
- A cobertura permanente do solo e o sistema radicular das gramíneas pode favorecer a melhoria nos atributos físicos do solo, aproximando-o de sistemas de equilíbrio composto por mata nativa, após um período de longa duração.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Características das gramíneas do gênero *Brachiaria*

Os capins do gênero *Brachiaria*, cerca de 90 espécies, comumente chamados de braquiária, têm distribuição marcadamente tropical, tendo como centro de origem primário a África equatorial (GHISI, 1991). No Brasil, como forrageira, são conhecidas desde a década de 1950 (ALCÂNTARA, 1986).

As gramíneas do gênero *Brachiaria* são largamente utilizadas em pastagens na América tropical. As braquiárias são as gramíneas mais plantadas no país, sendo utilizadas nas fases de cria, recria e engorda dos animais. Adaptam-se às mais variadas condições de solo e clima, ocupando espaço cada vez maior em todo o território brasileiro, por proporcionar produções satisfatórias de forragem em solos com baixa e média fertilidade, (SOARES FILHO, 1994). Desde que sejam bem manejados, apresentam alta produção de matéria seca e eficiência na cobertura do solo (GHISI, 1991).

Possuindo cerca de 180 milhões de hectares de pastagens no Brasil, segundo Fonseca et al. (2006), o gênero *Brachiaria* ocupa cerca de 85% dessa área, com a *Brachiaria decumbens* Stapf. Ocupando aproximadamente 55% desse total, fato comprovado pelo mercado formal de sementes. O sucesso do cultivo de forrageiras desse gênero se deve, principalmente, à sua excelente adaptabilidade a diversos sistemas de produção e condições edafoclimáticas.

Atualmente as gramíneas tem sido utilizadas não só para a formação de pastagens, mas também na recuperação de solos degradados ou em processo de degradação. A utilização de gramíneas na recuperação de solo degradados leva em consideração inúmeros fatores destacando-se o rápido desenvolvimento do sistema radicular, a liberação de exsudatos e o favorecimento no aumento da população de microrganismos, que juntos atuam na formação de agregados do solo (ALMEIDA et al., 2014).

Abaixo estão descritas as principais características relacionadas ao hábito de crescimento, produção de matérias verde e seca, além da adaptação edafoclimática de algumas gramíneas.

4.1.1. *Brachiaria decumbens* Stapf.

Nativa de Uganda, na África. Possui hábito de crescimento do tipo decumbente e porte baixo (aproximadamente 1,0 m). É altamente aclimatada sobretudo nos cerrados. É uma planta agressiva e colabora para conter a erosão. Apresenta boa digestibilidade e palatabilidade, sendo excelente para cria, recria e engorda. São adaptadas a solos de baixa a média fertilidade. Planta perene, boa para o pastoreio, com alta resistência ao pisoteio e apresenta elevada produção de feno. Produz cerca de 10-15 ton. MS ha⁻¹ ano⁻¹ (de 35 - 45 ton. massa verde ha⁻¹ ano⁻¹), possuindo entre 7 a 9% de proteína bruta na matéria seca (EMBRAPA, 2002).

4.1.2. *Brachiaria brizantha*

Originária da África tropical e do Sul. Possui hábito de crescimento em forma de touceira, com colmos de densa pilosidade, boa digestibilidade e palatabilidade. É excelente para desmama, cria, recria e engorda. Apresenta porte grande (até 1,5 m) e adapta-se bem em solos de média fertilidade. Planta perene e adaptada ao pastoreio de bovinos e produção de feno. Produz cerca de 18 ton. MS ha⁻¹ ano⁻¹ (aproximadamente 50 toneladas de massa verde por hectare ano⁻¹). Possui cerca de 10% de proteína bruta na matéria seca (EMBRAPA, 2002).

4.1.3. *Brachiaria humidicola*

Nativa do leste e sudeste da África tropical, especialmente de zonas com altas precipitações. Possui hábito de crescimento do tipo estolonífero, com grande número de gemas rente ao solo, o que explica sua cobertura densa, agressividade e também a capacidade de suportar altas cargas animais com porte de até 1 m.

Apresenta uma ampla adaptação climática, desde o nível do mar até 1.800 m de altitude, com precipitações de 700 a 4.000 mm por ano. São adaptados a solos de baixa a média fertilidade. Produz cerca de 10 toneladas MS ha⁻¹ ano⁻¹

(aproximadamente 35 toneladas de massa verde $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), possuindo entre 3 a 6% de proteína bruta na matéria seca. A digestibilidade e a palatabilidade são classificadas como média a baixa (EMBRAPA, 2002).

4.1.4. *Brachiaria brizantha* cv MG5 - Vitória

Originário de Burundi, na África central. Possui hábito de crescimento em touceiras, com porte de até 2,0 m de altura. Os caules se enraízam quando em contato com o solo, o que facilita sua multiplicação pelo pisoteio ou por compactação mecânica. Planta perene que se adapta bem em pluviometrias entre 800 a 3.000 mm ano. Tolerante solos arenosos e argilosos, persiste em solos mal drenados, mas com menor produtividade. Possui digestibilidade e palatabilidade satisfatórias. Sua produção varia com a fertilidade do solo de 25 a 32 MS $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, possuindo cerca de 9% de proteína bruta na matéria seca (EMBRAPA, 2002).

4.2. Efeito da utilização de gramíneas na melhoria dos indicadores físicos de qualidade do solo

As gramíneas forrageiras atuam de forma significativa nas qualidades físicas do solo, como o aumento da porosidade do solo e maior estabilidade dos agregados.

Blanchart et al.(2004) e Kondo et al (2012) identificaram, além destes aspectos citados, a redução da erodibilidade de Vertissolo, cultivado por dois anos com pastagem irrigada de *Digitaria decumbens* (capim Pangola), sob pastejo de ovinos. Sendo o aumento da biomassa radicular o fator de maior impacto na melhoria dos atributos.

A manutenção de cobertura vegetal permanente tem sido utilizada de forma bastante satisfatória nos sistemas conservacionistas de produção, em função das melhorias físicas que promove ao solo, principalmente em situações de baixa disponibilidade hídrica (OLIVEIRA et al., 2002).

Além dos benefícios a qualidade física do solo, a manutenção de palhada em superfície promove melhorias na retenção de água no solo e redução na amplitude térmica, redução no deslocamento do solo ocasionado pelo escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2002; SILVA et al., 2018) e melhorias nos índices de produtividade e disponibilidade de água (BRAGA et al., 2017). Nessas pastagens recém implantadas, há um incremento de agentes ligantes e aumento na macroporosidade em função do crescimento radicular e atividade de minhocas, que formam vasta rede de bioporos, orientados verticalmente (HAYNES; FRANCIS, 1990; KONDO et al, 2012).

4.3. Latossolo

Os latossolos são considerados solos profundos, com pouca diferenciação entre horizontes, bastante intemperizados, apresentam, portanto, argilas de baixíssima atividade, pouca retenção de base e virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. Relativamente ricos em óxidos de ferro e de alumínio, estes que são considerados agentes agregantes, desenvolvendo a macroporosidade, dando à massa do solo aspecto maciço poroso (esponjoso), formada de estrutura granular muito pequena, resistência à erosão, maciez (quando seco) e alta friabilidade (úmido), facilitando o trabalho no solo, mesmo depois das chuvas (RESENDE et al., 2002).

Solos passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Normalmente, estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%, o que facilita a mecanização. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo. Apesar do alto potencial para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida com reserva para proteção da biodiversidade desses ambientes (EMBRAPA, 2018).

Os Latossolos Amarelos, além da baixa fertilidade e da alta saturação por alumínio, apresentam problemas físicos com limitações quanto à permeabilidade restrita (elevada coesão dos agregados, pois o solo é extremamente duro quando seco) e lenta a infiltração de água. Os de textura mais argilosa têm certa tendência ao selamento superficial, condicionado pela ação das chuvas

torrenciais próprias dos climas equatoriais e tropicais. Os solos, utilizados para lavouras ou pastagens, apresentam alta erodibilidade à proporção que permanecem desnudos (EMBRAPA, 2018).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área de estudo

O experimento está sendo conduzido desde o ano de 2006 na área experimental da fazenda “Chã de Jardim”, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, em Areia – PB (Figura 1).



Figura 1. Localização da área experimental Chã de Jardim. Areia-PB.

O Município está inserido na microrregião do Brejo e mesorregião do Agreste da Paraíba ($6^{\circ}58'12''S$; $35^{\circ}41'15''W$ e altitude de 620 m). Conforme a classificação de Köppen, o clima que predomina é do tipo As' - tropical, quente e úmido, com chuvas no período de outono e inverno e precipitação média anual de 1400 mm (ALMEIDA et al., 2014).

A temperatura média anual é de $24,5^{\circ}C$ e a umidade relativa do ar varia em média de UR - 80%; quanto ao período chuvoso, 62% da precipitação anual distribui-se entre os meses de abril e julho (OLIVEIRA et al., 2009; LIMA et al., 2014).

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), de textura média, como pode ser observado na Tabela 1. A caracterização química e de fertilidade do solo encontra-se na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização física de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração no brejo da Paraíba. Areia - PB.

Prof.	AMG	AG	AME	AF	AMF	Sil.	Arg.	DP	ADA	GF	Cl. Text.
	----- g kg ⁻¹ -----							g dm ⁻³	gkg ⁻¹	%	
Área com gramíneas											
0-10	43	199	196	112	24	69	357	2,58	14	96	A. arenosa
10-20	77	258	184	85	17	44	335	2,55	13	96	F. A. arenosa
20-30	57	226	168	85	17	28	419	2,61	13	97	A.arenosa
Área de Mata Nativa (Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012))											
0-10	38	228	238	107	15	14	360	2,51	26	93	A.arenosa
10-20	51	187	169	96	18	56	422	2,50	26	94	A.arenosa
20-30	40	217	198	104	20	41	380	2,66	13	97	A.arenosa

AMG = Areia muito grossa; AG = Areia Grossa; AME = Areia média; AF = Areia Fina; AMF = Areia muito fina; Dp = Densidade de partículas; Cl. Text. = Classificação textural; ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; Sil= Silte; Arg.= Argila.

Tabela 2. Caracterização química e de fertilidade de Latossolo sob gramíneas em experimento de longa duração no brejo da Paraíba. Areia - PB.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	CTC	Na ⁺	MOS	P	K ⁺
H ₂ O ^(1:2,5)	----- Cmolc dm ⁻³ -----							g kg ⁻¹	- mg dm ⁻³ -	
5,3	1,89	1,43	0,30	8,33	3,46	11,79	0,06	49,52	1,82	28,37

SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca catiônica; MOS = Matéria orgânica do solo.

5.2. Delineamento experimental e variáveis analisadas

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições (5 x 4) +1, totalizando vinte e quatro (24) parcelas experimentais, e 72 amostras. Cada parcela apresenta área útil de 50 m² (10 x 5 m) e distanciam um metro (1 m) entre sí e dois metros (2 m) entre blocos, conforme observado na Figura 2.

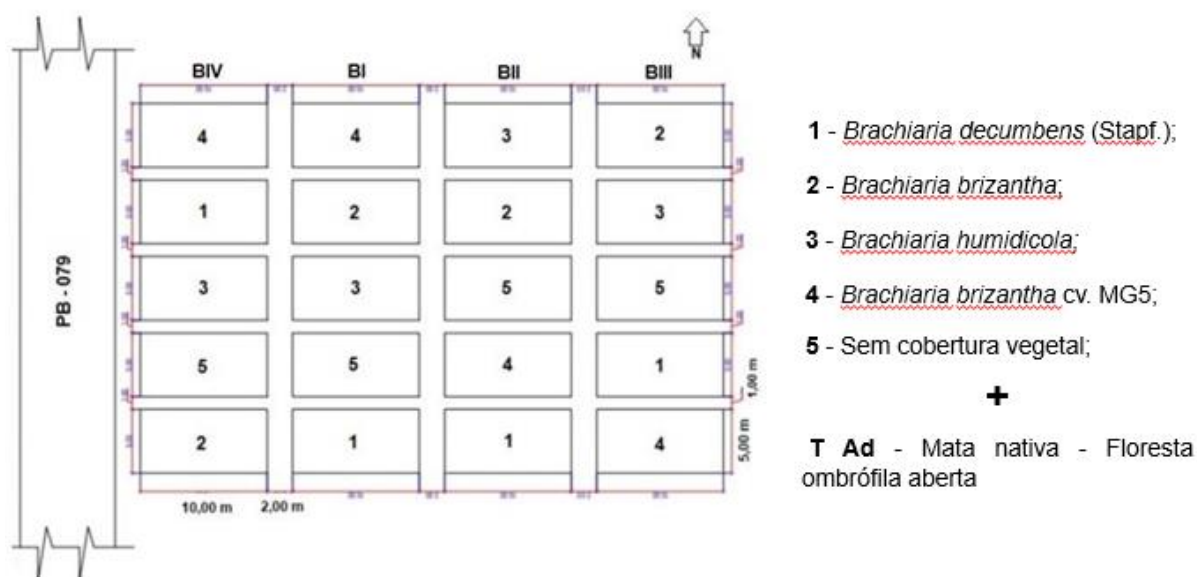


Figura 2. Croquí da área experimental com o delineamento.

As gramíneas foram plantadas no ano de 2006 em parcelas experimentais com 553 kg ha⁻¹ de NPK (60-80-45) – sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Nos anos seguintes não se realizou adubação de manutenção.

Os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1 - *Brachiaria decumbens*(Stapf.); T2 - *Brachiaria brizantha*; T3 - *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick vr.; T4 - *Brachiaria brizantha* cv. MG5 - Vitória, T5 - Sem cobertura vegetal, sendo capinado de forma manual no ano de 2018 com revolvimento da camada superficial de 0,00 - 0,5 m, anteriormente cultivado com a *Brachiara ruziziensis* por 12 anos e um tratamento adicional - Mata nativa composta por floresta ombrófila aberta, também conhecida como brejo de altitude.

5.3. Amostragem do solo

Amostras de solo com estrutura deformada e indeformada foram coletadas nas parcelas experimentais nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Foram utilizados cilindros metálicos do tipo Uhland com volume de 102,05cm³ na coleta das amostras com estrutura indeformada, e para as amostras de solo com estrutura deformada utilizou-se pá de corte.

5.4. Variáveis analisadas

As amostras indeformadas foram utilizadas na determinação das seguintes variáveis: Porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade (MA e MI), diâmetro médio ponderado de agregados úmidos e secos (DMPAu e DMPAs), índice de estabilidade de agregados (IEA), condutividade hidráulica saturada ($K\theta$), densidade do solo (D_s), grau de compactação (GC) e capacidade de aeração do solo (β), capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e água disponível (θ_{AD}).

As amostras com estrutura deformada foram utilizadas para a determinação da granulometria, argila dispersa em água (ADA), e carbono orgânico total (COT). A partir dos dados obtidos foi possível calcular grau de floculação (GF), e estoque de carbono (Est C).

Foi realizado o ensaio de resistência mecânica do solo à penetração até os 0,6 metros de profundidade em cada tratamento.

5.5. Caracterização física do solo

5.5.1. Análise granulométrica do solo

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas com malha de 2mm, e posteriormente encaminhada para a realização da análise granulométrica do solo amostrado para a obtenção da distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (TEIXEIRA et al., 2017), usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém sem o uso do dispersante químico. A partir dos dados foi possível calcular o grau de floculação do solo, conforme a Equação 1.

A relação silte argila ($R_{s/a}$) foi determinada através da relação entre o conteúdo de silte na amostra de solo (g kg^{-1}) e o de argila total (g kg^{-1}):

$$G_{flo} = [(Arg_{total} - Arg_{H_2O}) / Arg_{total} \times 1000] \quad (1)$$

Em que: G_{flo} – é o grau de floculação do solo ($g\ kg^{-1}$), Arg_{total} – conteúdo de argila total da amostra ($g\ kg^{-1}$) e Arg_{H_2O} – o teor de argila dispersa em água ($g\ kg^{-1}$).

5.5.2. Densidade do solo e Grau de compactação

A densidade do solo (D_s) foi determinada através da relação entre a massa do solo seco/ volume da amostra de solo no cilindro. Para a obtenção da massa do solo seco, a amostra de solo foi colocada em estufa com temperatura a $105\ ^\circ C$, por um intervalo de 48 horas até atingir o peso constante (TEIXEIRA et al., 2017).

O grau de compactação (GC) foi determinado conforme metodologia proposta por SUZUKI et al., 200, de forma a definir a percentagem de compactação do solo em relação ao seu máximo. Foi utilizado o valor (ρ) $1,85\ mg\ m^{-3}$, como sendo o valor máximo restritivo de densidade do solo para Latossolo de textura média (BEUTLER et al., 2005), conforme a Equação 2:

$$GC = D / 1,85 \times 100 \quad (2)$$

Em que: GC – é o grau de compactação (%) e D – é a densidade do solo.

5.5.3. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e capacidade de aeração do solo

A porosidade total foi determinada em amostra de solo com estrutura preservada, conforme descrito na (Equação 3):

$$PT\ (m^3\ m^{-3}) = 1 - (D_s / D_p) \quad (3)$$

Em que: PT – Porosidade total, D_s – densidade do solo ($g\ cm^{-3}$) e D_p – densidade de partículas ($g\ cm^{-3}$).

A microporosidade ($M_i - m^3 m^{-3}$) foi calculada aplicando-se o potencial matricial de $\Psi - 0,006 \text{ MPa}$ na mesa de tensão em amostras de solo saturadas, por um intervalo de no mínimo 48 horas. A macroporosidade ($M_a - m^3 m^{-3}$) foi obtida através da diferença entre a PT e a M_i , conforme as Equações (4 e 5):

$$M_i = (M - 0,006 \text{ kPa} - M_{ss}) / V_t \quad (4)$$

$$M_a = PT - M_i \quad (5)$$

Em que: M_i – microporosidade do solo, $M_s - 0,006 \text{ kPa}$ umidade do solo estabilizada em mesa de tensão, M_{ss} – massa do solo seco a 105°C , V_t – volume total do cilindro, PT – porosidade total e M_a – macroporosidade do solo.

A variável porosidade de aeração do solo (CAS) foi obtida conforme descrito por Reynolds et al. (2007), utilizando a (Equação 6):

$$CAS = \theta_s - \theta_{cc} \quad (6)$$

Onde: θ_s - corresponde a umidade volumétrica da amostra de solo saturada ($m^3 m^{-3}$); θ_{cc} - é o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$) determinada pelo extrator de Richards a uma tensão de $\Psi - 0,001 \text{ MPa}$.

5.5.4. Estabilidade de agregados

A classificação por tamanho e a estabilidade dos agregados úmidos (DMPAu) foi determinada com base na metodologia descrita por Kemper e Chepil (1965), modificada por Tisdall e Oades (1979). Utilizando um aparelho de oscilação vertical semelhante ao de Yoder (1936), os agregados foram separados nas seguintes classes, com base no seu diâmetro: 10,0-4,76; 4,76-2,00; 2,00-1,00; 1,00-0,50 e 0,50-0,25; 0,25-0,105; 0,105-0,053 e $<0,053 \text{ mm}$. O mesmo procedimento foi utilizado na análise da distribuição de tamanho de agregados secos (DMPAs), usando-se o aparelho Produtest, da Soil Test, com tempo de oscilação das peneiras de um minuto.

O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi estimado mediante relação entre o [(DMPAu/DMPAs)].

5.5.5. Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada de cada ponto foi determinada em amostras indeformadas de solo, utilizando permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 2011). As amostras foram saturadas em água destilada por 48 horas, em seguida, transferidas para o permeâmetro onde será aplicada uma carga hidráulica constante de 3 cm e registrado em unidades de minutos alternados o volume de água percolado, até uniformidade em pelo menos três leituras.

O cálculo foi realizado utilizando a Equação 7:

$$K=[(QxL)/(AxHxt)] \quad (7)$$

Em que: K = condutividade hidráulica (cmh^{-1}); Q = volume do percolado (mL^{-1}), ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas leituras quando há alguma variação; L = altura do bloco do solo (cm); H = altura do bloco do solo e da coluna de água (cm); A = área do cilindro (cm^2); t = tempo (h).

5.5.6. Intervalo de água disponível no solo

Os potenciais matriciais: -0,01 kPa e -1500 kPa foram utilizados para estimar a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), conforme descrito no manual de métodos de análises de solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017). Através da relação entre ($\theta_{CC} - \theta_{PMP}$) foi obtido o intervalo de água disponível ($\theta_{AD} - \text{m}^3 \text{m}^{-3}$). O equipamento que foi utilizado na determinação dos potenciais de água nas amostras de solo com estrutura indeformada foi o extrator de Richards.

5.5.7. Resistência à penetração

A resistência à penetração foi determinada conforme metodologia proposta por Stolf et al. (1983), utilizando o penetrômetro de impacto modelo comercial IAA/PLANALSUCAR/Stolf. A camada avaliada foi de 0,00 – 0,6 m. O penetrômetro de cone, também denominado de penetrômetro dinâmico, é um equipamento largamente utilizado em aplicações agrícolas para detectar camadas compactadas de solo (SILVEIRA et al., 2010). A transformação de penetração na unidade de cm impacto^{-1} para MPa, ou seja, resistência à penetração foi procedida de acordo com Stolf (1991).

Utilizou-se a (Equação 8) para determinar a resistência mecânica do solo a penetração:

$$\text{RMPS} = \left[\frac{\text{Mg} + \text{mg} + \left(\frac{\text{M}}{\text{M} + \text{m}} \times \frac{\text{Mg} \times \text{h}}{\text{X}} \right)}{\text{A}} \right] \times 0,098 \quad (8)$$

Em que: RMPS - resistência mecânica do solo à penetração; M - massa do êmbolo, 4,03 kg; g - aceleração da gravidade; m - massa do aparelho excetuando o êmbolo, 3,24 kg; h - altura percorrida pelo êmbolo, 0,56 m; x - penetração do cone no solo, cm/impacto ; A = Área basal do cone (m^2).

As amostras de solo com estrutura deformada foram coletadas nas camadas de 0,00 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,30, 0,30 – 0,40, 0,50 – 0,60 m, de forma a obter a umidade gravimétrica atual em condição de campo.

5.6.Determinação do carbono orgânico total e estoque de carbono

O carbono orgânico total (COT) foi determinado em amostras de solo via úmida pela oxidação com o dicromato de potássio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,0667 \text{ mol L}^{-1}$), conforme recomendado por Teixeira et al. (2017).

O estoque de carbono (Est C) foi calculado conforme metodologia proposta por Veldkamp (1994) e por Fernandes e Fernandes (2008). A expressão utilizada para calcular o Est C encontra-se abaixo:

$$\text{EstC}(\text{Mg ha}^{-1}) = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10 \quad (9)$$

Em que: Est C – é o estoque de carbono no solo; CO – teor de carbono orgânico encontrado na amostra de solo (g kg^{-1}), Ds – densidade do solo (g cm^{-3}), e – espessura da camada de solo avaliada (cm).

5.7. Análise estatística dos dados

Realizou-se a análise de variância e as médias foram comparadas utilizando o teste de tukey e a correlação de Pearson (r), ao nível de ($p < 0,05$), utilizando o software R (R DEVELOPMENT, 2013). As médias também foram agrupadas através da análise de componentes principais (ACP).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físicos indicadores de qualidade do solo

Observa-se que houve variação significativa entre tratamentos ao nível de ($p < 0,05$) para duas camadas de solo avaliadas (Tabela 3), destacando-se os atributos PT, MI e CAS na camada de (0,0-0,10 m) e CAS para a camada de (0,10-0,20 m). Os demais atributos avaliados não variaram significativamente entre tratamentos e camadas avaliadas.

Tabela 3. Atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.

Trat.	PT	MA	MI	CAS	DS	GC	Kθ
	-----m³ m⁻³-----				g cm⁻³	-- % --	cm h⁻¹
<u>0,0-0,10 m</u>							
BD	0,48 b	0,15 a	0,32 b	0,21 ab	1,19 a	64,1 a	24,6 a
BB	0,48 b	0,14 a	0,34 b	0,19 b	1,16 a	62,5 a	32,4 a
BH	0,49 b	0,14 a	0,34 b	0,19 ab	1,14 a	61,6 a	32,4 a
BB MG5	0,48 b	0,14 a	0,34 b	0,21 ab	1,17 a	63,4 a	32,3 a
SC	0,46 b	0,13 a	0,32 b	0,22 ab	1,16 a	62,9 a	40,7 a
MT	0,60 a	0,18 a	0,42 a	0,28 a	1,04 a	56,0 a	24,4 a
CV (%)	3,7	11,0	4,0	13,6	4,2	4,2	28,1
<u>0,10-0,20 m</u>							
BD	0,51 a	0,14 a	0,37 a	0,18 ab	1,25 a	67,6 a	19,36 a
BB	0,52 a	0,13 a	0,39 a	0,18 ab	1,24 a	66,8 a	3,84 a
BH	0,54 a	0,16 a	0,37 a	0,17 ab	1,19 a	64,5 a	24,22 a
BB MG5	0,51 a	0,15 a	0,35 a	0,15 b	1,25 a	67,7 a	7,38 a
SC	0,53 a	0,14 a	0,39 a	0,21 ab	1,20 a	64,6 a	17,77 a
MT	0,57 a	0,20 a	0,37 a	0,26 a	1,09 a	58,8 a	41,34 a

CV (%)	5,2	20,7	6,6	15,9	6,1	6,1	79,4
<u>0,20-0,30 m</u>							
BD	0,50 a	0,15 a	0,37 a	0,15 a	1,25 a	67,3 a	16,83 a
BB	0,52 a	0,15 a	0,37 a	0,13 a	1,22 a	65,7 a	8,79 a
BH	0,52 a	0,15 a	0,36 a	0,14 a	1,23 a	66,2 a	11,69 a
BB MG5	0,53 a	0,15 a	0,38 a	0,16 a	1,20 a	64,6 a	9,40 a
SC	0,53 a	0,17 a	0,36 a	0,17 a	1,20 a	65,0 a	13,75 a
MT	0,52 a	0,16 a	0,39 a	0,23 a	1,13 a	60,9 a	17,39 a
CV (%)	3,2	5,5	4,4	29,8	3,6	3,6	59,5

Trat.= Tratamento; PT= Porosidade total; MA= Macroporosidade; MI= Microporosidade; CAS= Capacidade de aeração do solo; DS= Densidade do solo; GC= Grau de compactação; K θ = Condutividade hidráulica saturada. BD= *Brachiaria decumbens*; BB= *Brachiaria brizantha*; BH= *Brachiaria humidicola*; BBMG5= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; SC= Sem cobertura; MT= Mata nativa. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

A porosidade total (PT) variou de 0,60 a 0,46 m³ m⁻³ na camada de 0,0-0,10 m entre os tratamentos avaliados, sendo superior no MT. O atributo apresentou uma tendência de redução com o aumento de profundidade do solo em relação a MT, variando de 0,57 a 0,51 m³ m⁻³ na camada de 0,10-0,20 m e de 0,53 a 0,50 m³ m⁻³ na camada de 0,20-0,30 m. Nota-se através desses dados que a porosidade total do solo ficou acima do limite crítico em todos os tratamentos e camadas avaliadas. Segundo Silva et al. (2012), o volume ideal de poros para manutenção da qualidade física do solo é de 0,50 m³ m⁻³. A manutenção de valores acima do limite crítico em todos os tratamentos avaliados pode estar relacionada a manutenção da cobertura vegetal em superfície e ao baixo nível de revolvimento do solo, inclusive no tratamento testemunha (SC), que foi mantido cultivado com *Brachiaria ruziziensis* por um período de 12 anos.

A redução de mobilização do solo e a deposição constante de matéria orgânica em superfície favorecem o aumento no volume total de poros do solo, em função, principalmente, da ação dos microrganismos em superfície (SALES et al., 2018), que melhoram a estrutura do solo durante o processo de decomposição.

Verifica-se então que a PT (Tabela 3) se manteve em níveis adequados nas três camadas de solo avaliadas, corroborando com os dados de Silva et al. (2018), que trabalhando com avaliação de atributos físicos de solo em área de pastagem degradada na Amazônia oriental, observaram que a agregação do solo promovida pelo sistema radicular das gramíneas favorece a manutenção da porosidade total do solo, com valores variando de 0,64 e 0,58 m³ m⁻³ para a camada de 0,0 a 0,20 m.

A elevada porosidade total no solo de mata 0,60 m³ m⁻³ (Tabela 3) para a camada de 0,0-0,10 m pode estar relacionada à ausência de intervenção antrópica no local de coleta das amostras de solo. Pois, em ambientes florestais, acumulam-se grandes quantidades de resíduos orgânicos e raízes nas camadas superficiais, que favorecem o rompimento de camadas de solo adensadas e compactadas que, juntamente a atividade dos microrganismos reduz a densidade e eleva a quantidade de poros no solo (PREVEDELLO et al., 2013).

Wendling et al. (2012) verificaram maior porosidade total do solo em ambiente de mata nativa e em área cultivada com *Pinus*, com valores variando de 0,66 a 0,64 m³ m⁻³ para a camada de 0,0-0,20 m, contudo, sem variação estatística significativa. Para eles a pouca diferença observada entre os diferentes sistemas de manejo estão relacionadas a decomposição do sistema radicular das árvores, que formam galerias na camada superficial do solo.

Outros autores como Matias et al. (2012) e Pignaro Netto et al. (2009), trabalhando com avaliação de atributos físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo, não observaram diferença estatística significativa para a porosidade total do solo, contudo, a mata nativa foi um pouco superior aos demais, para eles a explicação para o fato está relacionada ao elevado grau de conservação do solo em ambiente de mata.

Observa-se, na Tabela 3, que o atributo macroporosidade (MA) não variou significativamente entre os tratamentos e camadas avaliadas, variando de 0,18 a 0,13 m³ m⁻³ para a camada de 0,0-0,10 m, 0,20 a 0,13 m³ m⁻³ na camada de 0,10-0,20 m e de 0,17 a 0,15 m³ m⁻³ na camada de 0,20-0,30 m, sendo que no tratamento MT encontraram-se os maiores volumes de MA, mantendo-se superior aos demais tratamentos até a camada de 0,20 m, apresentando uma leve redução na camada 0,20-0,30 m. Contudo, os valores de MA (Tabela 3) ficaram acima do limite crítico em todos os tratamentos e camadas de solo

avaliadas, pois, segundo Reichert et al. (2007), o valor mínimo de MA requerido para a manutenção da qualidade física do solo é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A cobertura do solo promovida pela deposição constante de biomassa pelas gramíneas e pelas árvores da mata nativa tendem a aumentar os espaços porosos do solo de maior diâmetro, principalmente em Latossolos, em função da formação de agregados (MARTINKOSKI et al., 2017).

A elevação no volume de MA promove inúmeros benefícios ao solo, destacando-se maior condução e retenção de água no solo, redução na resistência mecânica à penetração de raízes, maior aproveitamento de nutrientes pelas plantas e maior dinâmica de gases no solo (RIBEIRO et al., 2007). O tratamento SC apresentou uma MA de $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 20-30 cm, favorecida provavelmente pela ação do sistema radicular da *Brachiaria ruziziensis* no período em que se manteve coberta.

A microporosidade (MI) foi significativa na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 3), sendo superior no tratamento mata nativa, com $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Na camada de 0,10-0,20 m a MI variou de 0,39 a $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e de 0,39 a $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 0,20-0,30 m. Com exceção do tratamento MT, houve aumento da MI para os demais tratamentos avaliados com o aumento de profundidade do solo. Esse fato pode estar relacionado ao aumento do teor de argila em subsuperfície (Tabela 1) e elevação da Ds com o aumento de profundidade da camada de solo (Tabela 3). A microporosidade é um atributo classificado como componente da porosidade estrutural do solo, e as práticas de manejo não alteram a sua distribuição espacial dentro de uma mesma área de avaliação (RAMOS et al., 2014). Dependendo da classificação textural e da distribuição granulométrica, o aumento de microporosidade do solo favorece a retenção e disponibilidade de água para as plantas (ROSA et al., 2018).

Os valores de microporosidade desse estudo foram superiores aos encontrados por Carvalho et al. (2016), trabalhando com evolução de atributos físicos, químicos e biológicos de solo hidromórfico sob sistema de integração lavoura-pecuária no Pampa gaúcho. Eles observaram valores de MI abaixo de 35%, possivelmente ocasionado pelo processo de revolvimento do solo antes da coleta de amostras para determinação das variáveis.

Conforme descrito na Tabela 3, o atributo capacidade de aeração do solo (CAS) foi significativo ao nível de ($p < 0,05$) nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20

m e não significativo na camada de 0,20-0,30 m. Os valores médios variaram de 0,28 a 0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na camada de 0,0-0,10 m, de 0,26 a 0,15 na camada de 0,10-0,20 m e de 0,23 a 0,13 na camada de 0,20-0,30 m. Verifica-se que todos os valores ficaram acima do limite crítico estabelecido como indicador de qualidade do solo, que, segundo Tormena et al. (2002), é de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ até o limite de 0,34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (REYNOLDS et al., 2007). Registra-se que houve redução da CAS de aeração do solo com o aumento de profundidade da camada avaliada, verificando-se uma redução de 31% entre a camada de 0,0-0,30 m para o tratamento BB.

O volume elevado de microporos no solo influenciou diretamente no aumento da CAS principalmente nas camadas mais superficiais. Outros fatores como cobertura vegetal permanente e a elevada estabilidade estrutural do solo, favoreceram a manutenção da CAS dentro dos limites estabelecidos como benéficos para o solo.

Observa-se, na Tabela 1, que em relação ao fracionamento da granulometria do solo, com foco na areia, grande parte é composta por areia grossa, mesmo o solo sendo classificado como Latossolo. E maiores concentrações de areia grossa em perfil favorece a manutenção de poros com maior diâmetro, principalmente de macroporos e bioporos, daí a manutenção da CAS dentro de limites adequados.

Assis et al. (2012), trabalhando com avaliação de atributos físicos de solo sob sistemas integrados de produção agropecuária no estado de Mato Grosso em um Latossolo Vermelho-amarelo distroférrico, verificaram valores de CAS variando de 0,19 a 0,40 entre as camadas de 0,0-0,20 m. Com o menor valor médio verificado ambiente de pastagem sob pisoteio animal. Segundo os mesmos autores, a CAS pode ser utilizada como um indicador de grande importância da avaliação da qualidade física do solo, por se correlacionar positivamente com outros atributos como a condutividade hidráulica, macroporosidade e porosidade total do solo.

Para Costa et al. (2015), o sistema radicular dos vegetais também pode favorecer o aumento da CAS em profundidade, em função de sua ação na descompactação e formação de agregados em subsuperfície. Excetuando-se o tratamento MT, nas camadas de 0,10-0,20 e de 0,20-0,30 m a CAS foi superior no tratamento SC em relação as parcelas com gramíneas. Esse fato pode ser

explicado por dois motivos, a permanência de raízes em subsuperfície da *Brachiaria ruziziensis* que ocupava as parcelas experimentais antes de ser descoberta (há um ano), ou pelo revolvimento do solo ocasionado pela capina manual em superfície.

Ferreira (2010) afirma que para garantir uma boa difusão de gases no solo, de forma a obter uma CAS adequada ao desenvolvimento das plantas, a macroporosidade não deve ser inferior a 10% do volume total de solo. Contudo, verifica-se no presente estudo que tanto a macroporosidade, assim como a CAS, ficaram acima de 10%, resultado esse demonstra que os diferentes sistemas de cobertura estão mantendo as características físicas do solo.

A densidade do solo (D_s) não foi significativa entre os tratamentos e camadas avaliadas ao nível de ($p < 0,05$). Os valores médios variaram de 1,19 a 1,04 g cm⁻³ na camada de 0,0-0,10, de 1,25 a 1,09 na camada de 0,10-0,20 e de 1,25 a 1,13 g cm⁻³ na camada de 0,20-0,30 m (Tabela 3). Os menores valores de densidade do solo foram verificados no tratamento MT em todas as camadas avaliadas, enquanto no tratamento BD verificaram-se os valores de D_s mais elevados. Contudo, todos os valores médios de D_s ficaram dentro da faixa de limite considerada como adequada para solos de textura média e argilosa, que segundo Reinert et al. (2008) varia de 1,30 a 1,40 g cm⁻³. No tratamento SC verificaram-se valores médios de D_s menores que no tratamento BD, possivelmente pelo revolvimento do solo ocasionado durante a capina manual das parcelas. Outro fato observado foi o aumento de D_s com elevação na profundidade de solo da camada avaliada, tendência seguida por todos os tratamentos.

O aumento de densidade do solo com elevação da camada avaliada também foi observada por Cavenage et al. (1999), Reinert et al. (2008) e Gubiani et al (2015). Para eles, este fato está relacionado ao uso intensivo de práticas agrícolas inadequadas que levam ao processo de compactação do solo nas camadas mais profundas. As plantas necessitam de condições físicas de solo adequadas para o seu bom desenvolvimento, pois, quando encontrada acima do limite crítico, a densidade do solo compromete o desenvolvimento das plantas, principalmente em função de redução na capacidade de aeração e aumento nos potenciais de sucção de água pelas raízes (KLEIN, 2006).

Os dados desse estudo (Tabela 3), em relação a D_s , corroboram com os verificados por Oliveira et al. (2017), trabalhando com avaliação dos atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta na região amazônica. Eles verificaram menores valores médios em mata nativa e maiores no tratamento com pastagem, onde as médias ficaram acima de $1,59 \text{ g cm}^{-3}$.

Os valores médios encontrados por esse estudo estão relacionados ao desenvolvimento do sistema radicular e a deposição constante de matéria orgânica pelas gramíneas em superfície. No caso da mata nativa, está relacionado a deposição constante de serrapilheira e a ação de micorganismos no revolvimento e ciclagem de materiais orgânicos no solo. Em vários estudos os autores relacionam o crescimento do sistema radicular dos vegetais com a variação dos valores médios de densidade do solo, pois a eficiência das raízes em penetrar no solo diminui em decorrência do aparecimento de camadas compactadas (REINERT et al., 2008), necessitando, em casos extremos, a utilização de técnicas mecânicas que revertam o processo de compactação e que diminuam a densidade do solo.

O solo de mata manteve a densidade do solo bem abaixo dos demais tratamentos nos três níveis de profundidade, confirmando o observado por Anjos et al. (1994), que o ambiente de floresta preserva a condição estrutural original do solo em relação a sistemas de produção intensamente manejados.

Em alguns casos o aumento de densidade do solo pode ser um processo natural, como frequentemente encontrados nos Latossolo dos tabuleiros costeiros, que dificultam dentre outros fatores, a diminuição do volume de solo explorado pelas raízes (REZENDE, 2000). No caso desse estudo, verifica-se que a melhoria estrutural do solo ao longo de treze anos de condução do experimento foi eficiente na manutenção de valores de densidade do solo dentro das faixas de limite, comparando-se aos valores verificados em solo sob mata nativa (Tabela 3), que geralmente se encontra em equilíbrio.

Verificou-se que a PT do solo reduziu com o aumento de densidade do solo (Tabela 3), em função da diminuição dos espaços porosos de maior diâmetro em todos os sistemas avaliados, inclusive no tratamento MT, utilizado como referência. A porosidade total é um indicador de qualidade física do solo, e o maior volume de poros reflete condições em que o solo sofreu pouca ou nenhuma alteração devido aos diferentes sistemas de manejo, ou mesmo

pressão ocasionada pelo tráfego ou revolvimento do solo (OLIVEIRA et al., 2015).

Não houve variação significativa entre os tratamentos e profundidades avaliadas ao nível de ($p < 0,05$) para o atributo Grau de Compactação (GC). Os valores variaram de 64,1 a 56,0% na camada de 0,0-0,10 m, de 67,7 a 58,8% na camada de 0,10-0,20 m e de 67,3 a 60,9 na camada de 0,20-0,30 m (Tabela 3).

Os menores valores médios do GC foram verificados no tratamento MT em todas as profundidades avaliadas, enquanto os maiores foram observados no tratamento BD. O grau de compactação apresenta correlação positiva com a densidade do solo, por isso aumenta com elevação na profundidade da camada de solo avaliada.

Um ponto positivo observado nesse estudo é que tanto os valores de densidade do solo, quanto do grau de compactação (GC) ficaram abaixo do limite restritivo. Segundo Suzuki et al. (2007) o valor médio restritivo para a maioria das culturas em solo com 30-70% de argila é de 75%. Observou-se, também, que esses valores médios ficaram abaixo dos verificados por Cortez et al. (2018), trabalhando com a avaliação de atributos físicos de solo em Latossolo Vermelho eutroférico com 55% de Argila. Para eles, a elevação no grau de compactação do solo com o aumento de profundidade está relacionado ao uso de implementos agrícolas no manejo e preparo do solo durante o ciclo de produção. A ausência de intervenção antrópica na área experimental ao longo de treze anos refletiu em valores baixos de grau de compactação do solo.

Os fatores que elevam o grau de compactação do solo são a intensa mobilização da camada superficial em sistemas de produção anual, e nas pastagens está relacionada ao pisoteio animal (DIAS JÚNIOR; STANISLAU, 1999). Verifica-se que o grau de compactação do solo pode ser utilizado como indicador de qualidade por se correlacionar com outros atributos físicos do mesmo como, a porosidade, densidade e a condutividade hidráulica. Suzuki et al. (2007), avaliando o grau de compactação do solo e rendimentos de cultura em Latossolo e Argissolo, observaram que a produtividade da soja só é restritiva quando o GC está acima dos 85%. Bem acima dos valores observados na Tabela 3. Nesse caso, verifica-se que a utilização de gramíneas com sistema radicular agressivo seriam fundamentais para reduzir o grau de compactação do solo através do revolvimento de camadas adensadas.

Na Tabela 3 é possível observar que a condutividade hidráulica saturada não apresentou variação estatística significativa entre os tratamentos e camadas de solo avaliadas. Na camada de 0,0-0,10 m os valores de $K\theta$ ficaram entre 40,7 e 24,4 cm h^{-1} , de 41,34 a 3,84 na camada de 0,10-0,20 m e 17,39 a 8,79 na camada de 0,20-0,30 m. Em superfície (0,0-0,10 m) o maior valor médio de condutividade foi verificado no tratamento SC e o menor no tratamento MT. Contudo, houve redução na condutividade hidráulica saturada com o aumento de profundidade do solo.

A maior taxa de redução foi verificada no tratamento BB, 73% em relação a camada superficial de 0,10-0,20 m. Vários são os fatores envolvidos na redução da taxa de infiltração. Dentre eles, podem ser citados o aumento de D_s e GC com o aumento de profundidade da camada avaliada, além da presença de maiores quantidades de argila em subsuperfície. Na profundidade de 0,0-0,10 m verificou-se maior condutividade hidráulica de 40,7 cm h^{-1} em SC, em relação aos demais tratamentos. A explicação para este fato pode estar relacionada ao revolvimento da camada superficial durante a capina no ano de 2018. A condutividade hidráulica saturada é um atributo bastante sensível às mudanças de manejo e uso do solo, e pode ser comprometida quando as práticas de cultivo adotadas excedem a capacidade de suporte do solo (LIMA et al., 2018). Além disso apresenta uma estreita relação com a textura e a porosidade do solo. Então, quando se utiliza equipamentos que afetam a qualidade estrutural do solo, ocorre uma redução no volume de vazios, principalmente de macro e bioporos, o que acarreta em redução da condutividade hidráulica (COSTA et al. 2015).

Santos et al. (2011), avaliando a qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, também observaram redução da condutividade hidráulica saturada com o aumento de profundidade do solo. Segundo eles, a condutividade hidráulica é um atributo relacionado à estrutura do solo, e a maior taxa de infiltração de água em superfície está relacionada às alterações de ordem biológica decorrente do sistema de uso do solo, principalmente pela presença de um volume maior de bioporos.

A deposição constante de matéria orgânica favorece a ação de microrganismos, que em associação com a argila, os óxidos de ferro e alumínio, os exsudatos, o carbonato de cálcio e o manganês atuam na formação e estabilidade de agregados (BASTOS et al., 2005), que em ambientes estáveis

favorece a infiltração e retenção de água, além da dinâmica de gases e melhorias na absorção de nutrientes pelas plantas.

Na Tabela 4, observa-se que houve variação significativa para os atributos capacidade de campo (θ_{CC}) e água disponível (θ_{AD}), ao nível de ($p < 0,05$) para a camada superficial de 0,0-0,10 m. O tratamento com a melhor média para a capacidade de campo foi o MT com $0,275 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, já a menor média foi encontrada no tratamento BD com $0,208 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tabela 4. Capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e intervalo de água disponível (θ_{AD}) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.

Tratamento	θ_{CC}	θ_{PMP}	θ_{AD}
	-----m ³ m ⁻³ -----		
<u>0,0-0,10 m</u>			
BD	0,208 ab	0,143 a	0,065 b
BB	0,245 a	0,162 a	0,083 a
BH	0,208 ab	0,142 a	0,066 b
BB MG5	0,213 ab	0,142 a	0,071 b
SC	0,210 ab	0,149 a	0,061 b
MT	0,175 b	0,139 a	0,036 b
CV (%)	6,8	9,3	12,8
<u>0,10-0,20 m</u>			
BD	0,233 a	0,155 a	0,078ab
BB	0,240 a	0,152 a	0,088ab
BH	0,225 a	0,152 a	0,073ab
BB MG5	0,245 a	0,155 a	0,090 ab
SC	0,235 a	0,140 a	0,095 a
MT	0,192 a	0,158 a	0,034 b
CV (%)	12,1	15,9	27,0

<u>0,20-0,30 m</u>			
BD	0,268 a	0,175 a	0,093 a
BB	0,287 a	0,172 a	0,115 a
BH	0,270 a	0,168 a	0,102 a
BB MG5	0,292 a	0,172 a	0,120 a
SC	0,255 a	0,165 a	0,090 a
MT	0,207 a	0,165 a	0,042 a
CV (%)	14,9	11,3	37,1

BD= *Brachiaria decumbens*; BB= *Brachiaria brizantha*; BH= *Brachiaria humidicola*; BBMG5= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; SC= Sem cobertura; MT= Mata nativa. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao atributo água disponível, a melhor média foi verificada no tratamento BB $0,081 \text{ m}^3$, na camada de 0,0-0,10. Os demais tratamentos foram estatisticamente iguais, sendo menores apenas que o tratamento BB. Para a camada de 0,10-0,20 m verificou-se maior média no tratamento SC $0,095 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo superior aos demais tratamentos, inclusive ao tratamento MT.

Para a camada de 0,20-0,30 m verifica-se que não houve variação significativa entre os tratamentos para as três profundidades de solo analisadas. E as médias variaram de 0,292 a 0,207 para a θ_{CC} , 0,175 a 0,165 para o θ_{PMP} e 0,122 a 0,042 para o intervalo de água disponível.

A θ_{CC} foi superior no tratamento MT $0,175 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na camada de 0,0-0,10 m, provavelmente favorecida pelo aporte constante de matéria orgânica em superfície. Além de um volume significativo de macro e microporos em superfície (Tabela 4), favorecendo assim uma maior taxa de infiltração e armazenamento de água no solo. A manutenção de resíduos em superfície é crucial para a preservação do conteúdo de água no solo, principalmente em função dos teores de humina que, entre outros benefícios, atua na adesão das moléculas de água com a matriz do solo (CARMO et al., 2012; MELO et al., 2017).

O volume de água disponível foi maior em função do grande volume de água armazenado na θ_{CC} em relação ao θ_{PMP} . Como o solo da área experimental apresenta elevada macroporosidade e porosidade total, contribui para uma maior taxa de evaporação de água, reduzindo assim o intervalo de

água disponível. E, como os Latossolos possuem perfis profundos, talvez favoreça o maior armazenamento de água nas camadas mais profundas do solo.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, o volume de AD foi expressivamente menor no tratamento MT em relação aos demais tratamentos, inclusive no tratamento SC. Provavelmente o aporte de matéria orgânica em subsuperfície promovido pelas raízes da *Brachiaria ruziziensis* deve ter favorecido o maior acúmulo de água. Ou mesmo pelo maior grau de compactação e elevação na densidade com o aumento de profundidade do solo. Beutler et al. (2002), trabalhando com retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos, verificaram uma participação efetiva da matéria orgânica do solo na retenção de água. Para eles a interface de contato entre a matéria orgânica do solo e as frações granulométricas, como a argila, atuam de forma direta na retenção de água no solo, inclusive quando os teores de matéria orgânica variaram entre 8 a 68 g kg⁻¹. Com o decréscimo da MOS, há diminuição no conteúdo de água, porém entre em ação a mineralogia do solo e a microestrutura, que atuam de forma direta no armazenamento de água no solo.

A manutenção permanente de material vegetal em superfície ao longo dos treze anos de implantação do experimento favoreceu em melhorias no armazenamento de água no solo em função da redução no grau de compactação e densidade do solo na camada superficial, que contribuiu para melhorias na taxa de infiltração de água ao longo do tempo. Se fosse necessário escolher uma gramínea para melhoria no armazenamento de água no solo, a BB seria a mais indicada, pois em relação ao tratamento testemunha MT, foi o tratamento que apresentou melhores índices de armazenamento de água até a camada de 0,20 m. Conhecer esses parâmetros é fundamental no entendimento dos processos que regem a dinâmica e a estática de água no solo, pois, para o dimensionamento de projetos de irrigação, torna-se necessário entender quais os limites superiores e inferiores de água no solo, para assim melhorar a eficiência da distribuição de água ao longo do perfil.

As plantas necessitam de água para sobreviver e apresentam dificuldade de absorção em potenciais matriciais elevados, sendo assim, o aumento de densidade pode até favorecer em melhorias na taxa de retenção, contudo reduz de forma significativa o volume de água disponível para as plantas.

Para altos conteúdos de água, nos quais fenômenos capilares são de importância na retenção de água, esta depende da densidade do solo e da porosidade, enquanto, para menores conteúdos de água, em que o fenômeno de adsorção domina, depende mais da textura e da superfície específica do solo (HILLEL, 1970; DEMATTÊ, 1988). No presente estudo verificou-se aumento de argila (Tabela 1) com elevação de profundidade do solo.

Um fenômeno físico que também pode explicar a diferença de umidade para a θ_{CC} no potencial matricial de -10 KPa é a histerese das amostras de solo utilizadas na avaliação em laboratório. Esse fenômeno se caracteriza pelo ganho ou perda de água de um meio físico (amostra de solo), modificando o valor de umidade para o mesmo potencial matricial avaliado (RUIZ et al., 2003).

Correia et al. (2008), estudando os efeitos de tensões de três diferentes solos, usando tensiometria em casa de vegetação e em campo, concluíram que a água disponível nos solos estudados está diretamente ligada ao aumento da porosidade e aos teores de argila em 0,30 a 0,60 m de profundidade.

Levando-se em consideração as prováveis variações nos conteúdos de água no solo, quando este se encontra em capacidade de campo e em ponto de murcha permanente, de conformidade com o método de determinação, a faixa de água disponível ou facilmente disponível no solo poderá ser alterada, inclusive com reflexos nos cálculos de lâminas de água para irrigação (SOUZA et al., 2002).

Pois sabe-se que, do conteúdo de água disponível, apenas 50% dele está prontamente disponível para absorção pelas plantas. E observando os dados da Tabela 4, verifica-se que de todos os tratamentos avaliados, os maiores volumes de água prontamente disponível para as plantas estão presentes nos tratamentos BB 0,083 m³ m⁻³ (0,0-0,10 m), SC 0,095 m³ m⁻³ (0,10-0,20 m) e BBMG5 0,120 m³ m⁻³ (0,20-0,30 m).

A maior quantidade de água na θ_{CC} em ambiente de floresta (0,0-0,10 m) deveu-se ao maior conteúdo de matéria orgânica depositado em superfície, inclusive pela diversidade de materiais com diferentes relações C/N. Pois segundo Hillel (1980), Meur et al. (2000) e Vasconcelos et al. (2010), a matéria orgânica proporciona grande capacidade de retenção de água, aumentando a necessidade de formação de maiores filmes de água ao redor das partículas minerais, resultando em maior volume de água armazenado.

Os Latossolos apresentam estrutura granular e duas classes de poros distintas, sendo uma formada por macroporos que perde água facilmente em baixas tensões e outra por microporos, que são capazes de reter água fortemente (CARDUCCI et al., 2011; CARDUCCI et al., 2013; SILVA et al., 2017). Levando em consideração a afirmação dos autores acima citados, pode-se aferir, a partir dos dados da Tabela 4, que o elevado volume de macroporos em superfície, em detrimento as camadas subsuperficiais, favoreceu a perda de água no solo nos baixos potenciais matriciais aplicados, resultando em valores baixos de umidade do solo.

Em condições de campo, no caso do Latossolo avaliado por esse estudo, verifica-se que a estrutura granular e a presença de macroporos em superfície influencia na perda de água para o ambiente, seja através da absorção e evapotranspiração pelas plantas ou mesmo através da evaporação para o ambiente.

Silva et al. (2017) também verificaram baixos valores de água disponível no solo de floresta, o que está relacionado ao elevado conteúdo de água no θ_{PMP} , como já salientado anteriormente, a água encontra-se fortemente retida, permanecendo indisponível para as plantas.

Beutler et al. (2002), avaliando a capacidade de água disponível (θ_{CAD}) em Latossolos sob diferentes manejos, verificaram que a mata apresentou o maior teor de matéria orgânica, a menor densidade do solo e menor CAD. Para explicar seus resultados, os autores inferiram que a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, mas não a retenção de água, quando ocorrem variações na densidade do solo. Assim sendo, a densidade do solo nos solos cultivados tem efeito positivo e superior ao da matéria orgânica no volume de água disponível no solo.

A capacidade de água disponível foi maior no tratamento SC em relação ao tratamento MT para a profundidade de 0,10-0,20 m. Possivelmente pelo leve aumento de densidade do solo com o preparo da parcela experimental no período de capina. Contudo, a D_s do solo no tratamento SC $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ foi superior ao tratamento MT $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0,10-0,20 m, explicando assim o maior volume de água disponível armazenado no solo.

Com relação aos potenciais de água no solo na θ_{CC} e no θ_{PMP} , observa-se que o intervalo entre as variáveis para o tratamento MT ficaram próximos,

explicando assim o baixo intervalo de água disponível para esse tratamento MT avaliado. Então presume-se que a densidade do solo em alguns tratamentos foi mais eficiente na retenção de água que o teor de matéria orgânica verificado no solo estudado.

6.2. Estabilidade de agregados do solo

Averiguou-se que não houve variação significativa entre os tratamentos ao nível de ($p < 0,05$) para três camadas de solo avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetros médios ponderados de agregados secos (As) e úmidos (Au) e índice de estabilidade de agregados (IEA) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.

Tratamento	DMPAs	DMPAu	IEA
	----- mm -----		-
<u>0,0-0,10 m</u>			
BD	3,30 a	2,64 a	0,799 a
BB	3,18 a	2,66 a	0,840 a
BH	3,37 a	2,56 a	0,758 a
BB MG5	3,29 a	2,32 a	0,710 a
SC	3,25 a	2,80 a	0,865 a
MT	3,09 a	2,20 a	0,723 a
CV (%)	9,3	12,6	12,0
<u>0,10-0,20 m</u>			
BD	3,19 a	2,34 a	0,750 a
BB	3,40 a	2,78 a	0,818 a
BH	3,54 a	2,49 a	0,698 a
BB MG5	3,22 a	2,48 a	0,772 a

SC	2,91 a	2,41 a	0,835 a
MT	3,25 a	2,39 a	0,740 a
CV (%)	12,3	14,2	10,8
<u>0,20-0,30 m</u>			
BD	3,22 a	2,23 a	0,700 a
BB	2,88 a	2,49 a	0,868 a
BH	3,02 a	2,54 a	0,845 a
BB MG5	3,27 a	2,29 a	0,705 a
SC	2,78 a	1,89 a	0,703 a
MT	2,83 a	2,26 a	0,805 a
CV (%)	10,7	12,9	13,6

BD= *Brachiaria decumbens*; BB= *Brachiaria brizantha*; BH= *Brachiaria humidicola*; BBMG5= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; SC= Sem cobertura; MT= Mata nativa. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O atributo diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs) variou de 3,37 a 3,09 mm na camada de 0,0-0,10 m entre os tratamentos avaliados, sendo superior no BH por termos absolutos. Com o aumento da profundidade de 0,10-0,20 m, os resultados continuaram similares a camada anterior, variando de 3,54 a 2,91. Na camada de 0,20-0,30 m houve uma tendência de diminuição dos valores obtidos, variando de 3,27 a 2,78.

O atributo diâmetro médio ponderado de agregados úmidos (DMPAu) variou de 2,80 a 2,20 mm na camada de 0,0-0,10 cm entre os tratamentos avaliados, sendo superior no SC. Com o aumento da profundidade de 0,10-0,20 m, os resultados tiveram uma tendência a diminuir, onde variou de 2,78 a 2,34, assim também aconteceu na camada de 0,20-0,30 m, que variou de 2,54 a 1,89.

De maneira geral os resultados obtidos tenderam a diminuir com o aumento da profundidade, em razão da maior concentração de raízes nas camadas superficiais, que contribui positivamente na atuação dos agentes cimentantes do solo. Salton et al. (2008), em experimento de longa duração, com diferentes sistemas de manejo, verificaram que sistemas com pastagem

apresentaram maior diâmetro médio ponderado de agregados, constatando redução nos valores, à medida em que aumentava a profundidade avaliada.

O atributo índice de estabilidade de agregados (IEA) variou de 0,865 a 0,710 na camada de 0,0-0,10 m entre os tratamentos avaliados, sendo superior no SC. Com o aumento de profundidade, observa-se que os resultados obtidos não tiveram grandes variações, tanto na camada de 0,10-0,20 m, variando de 0,835 a 0,698, quanto na camada de 0,20-0,30 m variando de 0,868 a 0,703.

O melhor resultado obtido no índice de estabilidade de agregados, considerando as três camadas avaliadas, foi para o tratamento com a BB, melhor até que a MT. Corroborando com os dados obtidos por Salton et al. (2008), que trabalhando com o efeito de sistemas de manejo na agregação do solo em experimentos de longa duração, concluíram que a manutenção do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis, com valores semelhantes ou superiores aos verificados na condição de vegetação natural, somente foi obtida com a rotação lavoura pastagem em ciclos de dois anos ou com pastagem permanente.

Altos índices de estabilidade do solo, mesmo com os diferentes tipos de tratamentos, podem ser explicados devido à textura do solo da área experimental, onde obtiveram uma média de 378 g kg⁻¹ de argila nas três camadas avaliadas (Tabela 1). De acordo com Silva et al. (2014), a textura do solo influencia na formação e na estabilidade de agregados, sendo que solos com maior teor de argila contribuem para a agregação. Vezzani e Mielniczuk (2011) comentam, ainda, que um maior teor da fração argila favorece a aproximação das partículas do solo, devido à presença de cargas elétricas em maiores quantidades. Em contrapartida, horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, afetando negativamente a formação de agregados (SANTOS et al., 2011). Também pode ser explicado pelos altos índices de estoque de carbono do solo em todos os tratamentos, como pode observar-se na Figura 4.

O tratamento SC obteve resultados parecidos e até superiores ao do tratamento com a BB em algumas camadas avaliadas, isso devido ao pouco tempo (um ano) da retirada da *Brachiaria brizantha* da área experimental, não havendo tempo suficiente para que as melhorias físicas atribuídas a gramínea fossem desfeitas. Vezzani e Mielniczuk (2011) defendem que o uso de

gramíneas perenes pode retardar a degradação da matéria orgânica em solos submetidos a manejos conservacionistas, conferindo maior aporte de MOS.

Rozane et al. (2010), que trabalhando com a avaliação do estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes usos e manejos, demonstraram que o aporte superior no estoque de carbono influencia positivamente na estabilidade dos agregados. E que a influência na agregação do solo é um processo dinâmico em que os efeitos benéficos estão associados à intensificação da atividade microbiana, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilidade dos agregados.

Paladini e Mielniczuk (1991) e Rozane et al. (2010) constataram correlação entre agregados maiores que 2,00 mm e carbono orgânico do solo, indicando que compostos orgânicos podem ter atuado na formação e estabilidade desses agregados.

6.3. Resistência mecânica à penetração do solo

Na Figura 3 observa-se a resistência a penetração de acordo com a profundidade sob os diferentes tipos de uso do solo.

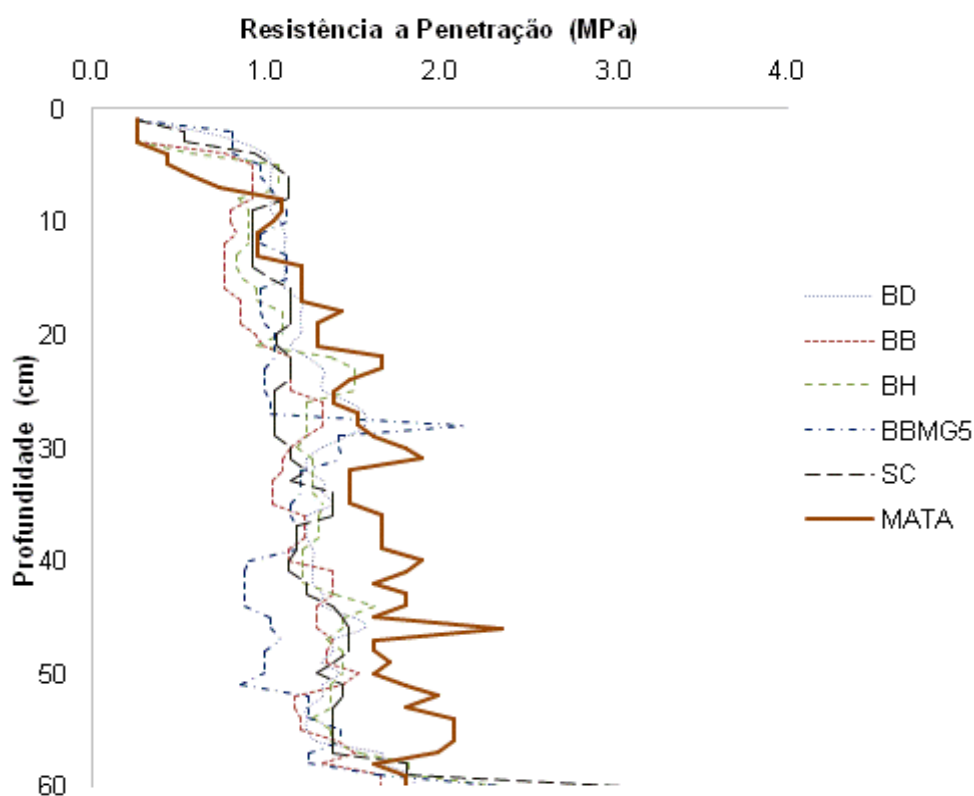


Figura 3. Valores de resistência à penetração em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.

A resistência à penetração nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,30-0,40 m ficou abaixo de 2 MPa em todos os tratamentos. Na camada de 0,20-0,30 m constata-se o aumento da resistência a penetração do tratamento BBMG5, obtendo 2,2 MPa de resistência. Já na camada de 0,40-0,50 m verifica-se o aumento da resistência à penetração do tratamento MATA, obtendo 2,4 MPa de resistência. Por fim, na camada de 0,50-0,60 m ocorreu o aumento da resistência à penetração nos tratamentos MATA, BBMG5 e SC, que obtiveram 2,1, 2,4 e 3,1 MPa, respectivamente, de resistência.

De acordo com Vepraskas (1994), quando os valores de resistência a penetração ficam acima de 2 MPa, o crescimento radicular é considerado limitante para a maioria das culturas. Vale ressaltar que a resistência do solo à penetração exercida pela haste tem tendências a superestimação, pois não necessariamente representa a resistência que as raízes imprimem (VAN LIER e GUBIANI, 2015).

A resistência à penetração, além da dependência de fatores intrínsecos do solo (textura, estrutura e mineralogia), é altamente dependente da umidade do solo (SILVA et al., 2002).

Como pode ser observado na Tabela 6, houve um aumento na umidade do solo em profundidade, porém houve aumento da resistência do mesmo à penetração em tais camadas (Figura 3), indo em contrapartida aos dados obtidos por Cunha et al., (2002), que, em condição de baixa umidade, ocorre maior resistência à deformação ou à penetração de raízes, e com o aumento do teor de água, decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, incorrendo em redução da RP.

Tabela 6. Umidade do solo de resistência a penetração em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.

Profundidade	Umidade
m	---- g kg ⁻¹ ---
<u>Área com gramíneas</u>	
0,0-0,10	144,7
0,10-0,20	158,2
0,20-0,30	201,3
0,30-0,40	263,2
0,40-0,50	255,3
0,50-0,60	237,9
<u>Área de mata nativa</u>	
0,0-0,10	218,0
0,10-0,20	216,0
0,20-0,30	208,4
0,30-0,40	226,3
0,40-0,50	230,8
0,50-0,60	240,5

O aumento da resistência à penetração em profundidade, em todos os tratamentos, pode estar ligado ao aumento das proporções de argila (Tabela 1) na textura do solo.

A área experimental se enquadra como um Latossolo Amarelo, que de acordo com a EMBRAPA (2019), possui a restrição do aprofundamento das raízes por ser álico ou distrófico, e também devido à elevada coesão dos agregados, pois o solo é muito duro ou extremamente duro no estado seco. Silva e Carvalho (2007), trabalhando com a coesão e resistência ao cisalhamento de um Latossolo Amarelo em tabuleiro costeiro, obtiveram resultado semelhante, onde com o aumento das proporções de argila, em profundidade, aumentou a coesão entre as partículas, e concomitantemente a maior resistência do solo à penetração.

O processo de compactação é um dos principais responsáveis pela degradação dos solos agrícolas (HORN et al., 2003; ASSIS et al., 2014), sendo um limitante da qualidade física dos mesmos, o que, conseqüentemente, prejudica a obtenção de maiores índices de produtividade (ALAKUKKU & ELOMEN, 1994; ASSIS et al., 2014).

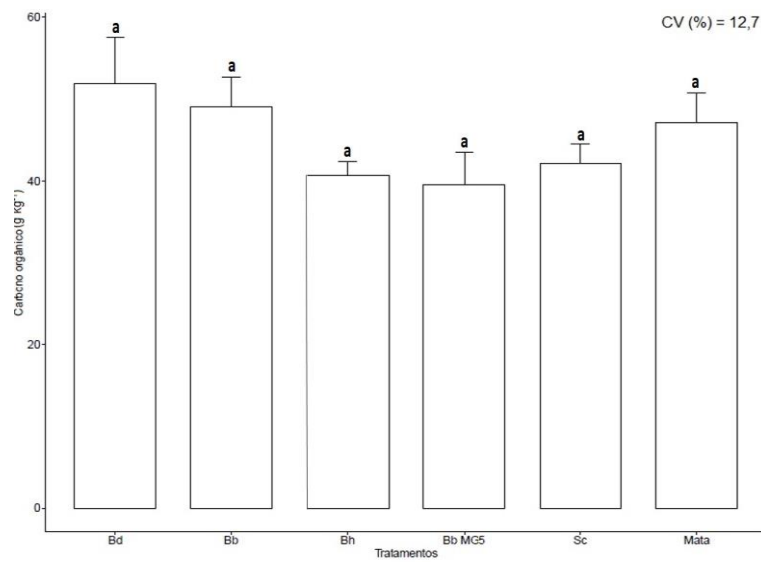
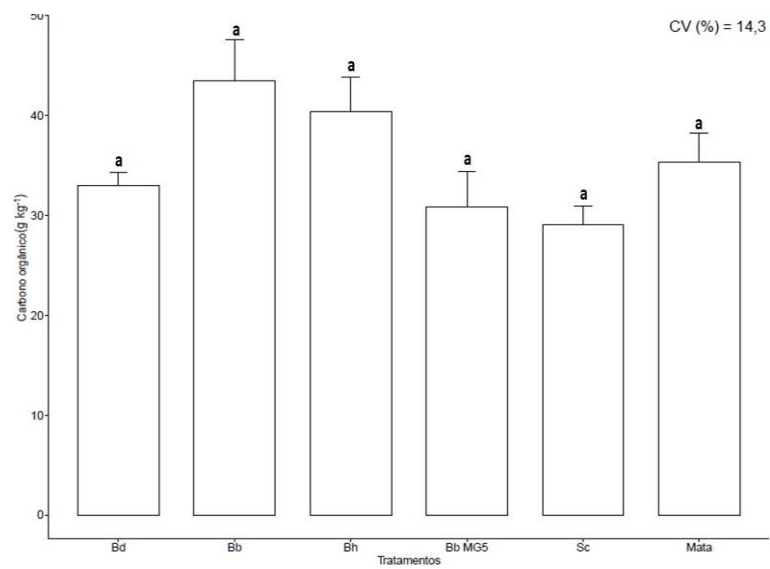
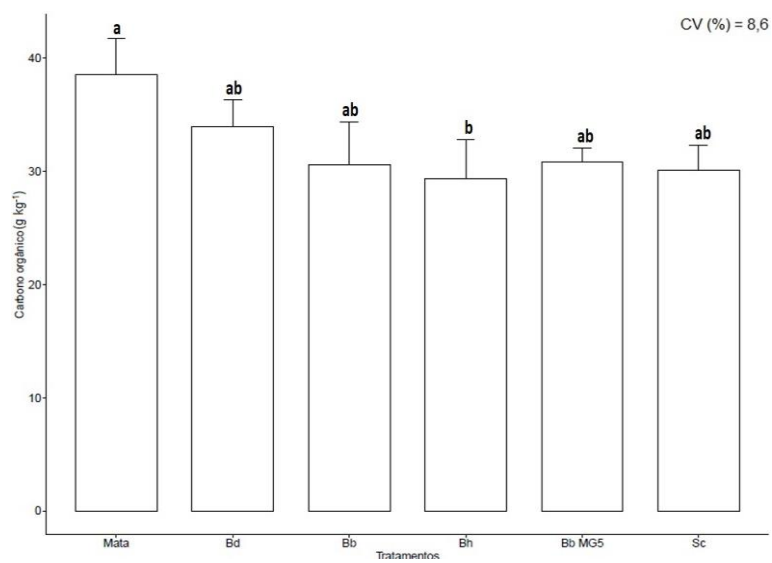
Blainski et al., (2008), quantificaram a influência de diferentes sistemas de uso na curva de resistência à penetração, e tiveram como resultado que a utilização de pastagens poderia constituir uma alternativa tecnicamente viável para o restabelecimento parcial da qualidade física do solo. Segundo Lucas et al., (2012), a maioria das culturas apresentam 70% de suas raízes entre as profundidades de 0,20 a 0,40 m. Nos dados obtidos, apenas o BBMG5 ultrapassou o limite de 2 MPa para a camada descrita, demonstrando que pode haver uma limitação a respeito de seu desenvolvimento ideal. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2009), Cavallini (2010) e Moura et al., (2012), que afirmam que o aumento da resistência mecânica à penetração, no cultivo de *Brachiaria brizantha*, promove a redução do teor de proteína bruta e da matéria seca.

Dentre os tratamentos utilizados, o BB foi o que apresentou valores de resistência a penetração menos restritivos para o desenvolvimento radicular, obtendo como resistência máxima 1,7 MPa na camada de 0,50-0,60 m.

6.4. Carbono orgânico total e estoque de carbono no solo

6.4.1 Carbono Orgânico total

Observa-se na Figura 4, que não houve variação estatística significativa para o atributo carbono orgânico total (COT), para a profundidade de 0,0-0,20 m entre os tratamentos avaliados. Já para a camada de 0,20-0,30 m, verifica-se que houve variação significativa entre os tratamentos, destacando-se o MT com 37,9 g kg⁻¹ (Figura 4C).

A**B****C**

BD= *Brachiaria decumbens*; BB= *Brachiaria brizantha*; BH= *Brachiaria humidicola*; BBMG5= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; SC= Sem cobertura; MT= Mata nativa. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 4. Carbono orgânico total (COT) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.A) 0,0-0,10 m, B) 0,10-0,20 m e C) 0,20-0,30 m.

Na camada de 0,0-0,10 m a variação do COT entre os tratamentos foi de 51,8 g kg⁻¹ para o tratamento BD e 38,6 g kg⁻¹ para o tratamento BB MG5. Para a camada de 0,10-0,20 m a variação foi de 43,4 para o BB e 29,1 para o SC (Figura 4B). Verifica-se que o aporte de COT foi maior nos tratamentos com algumas gramíneas do que no tratamento MT.

A permanência do material em superfície por um longo período de tempo e a elevada produção de biomassa radicular pelas gramíneas favoreceram o elevado acúmulo de carbono nas camadas de solo avaliada. Outro fato verificado foi a redução no teor de COT com o aumento de profundidade do solo, talvez resultado da elevada taxa de decomposição do material orgânico em subsuperfície por ação da maior taxa de umidade.

De forma geral, a velocidade de decomposição e mineralização de nutrientes de várias fontes de resíduos vegetais variam largamente, tornando difícil fazer previsões sobre esses processos (ALVES et al., 2011). Comparando-se os tratamentos com gramínea em relação ao tratamento floresta, sabe-se que a diversidade de materiais em ambiente florestais é diversa e as gramíneas apresentam uma certa homogeneidade em relação aos teores de C/N, reduzindo a taxa de decomposição do material dentro do sistema.

Alves et al. (2011), trabalhando com relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde, encontraram 40% de carbono no colmo do capim elefante *Pennisetum purpureum*, evidenciando assim a capacidade das gramíneas em favorecer o acúmulo de carbono no solo. Souza et al. (1999), determinando os teores de macro e micronutrientes e a relação C/N de várias espécies de plantas daninhas, verificaram que as gramíneas *Brachiaria decumbens* Stapf. e *Brachiaria plantaginea* apresentam

elevada relação C/N em relação as dicotiledôneas, favorecendo a manutenção dos teores de COT no solo.

Na Figura 4B, observa-se redução no COT do tratamento SC em relação aos demais tratamentos. Possivelmente, o manejo empregado da capina manual das parcelas experimentais favoreceu a perda de carbono para o ambiente, favorecendo a redução no teor de C na camada avaliada de 0,10-0,20 m.

Segundo Sanchez e Logan (1992), a perda de matéria orgânica em solos de clima tropical é 5 vezes maior que em solos de clima temperado, explicando assim a drástica redução no COT do tratamento SC. Nos demais tratamentos, a manutenção de COT em níveis elevados deve-se à manutenção permanente da cobertura do solo, no caso das parcelas com gramíneas, são treze anos sem intervenção antrópica.

Além da ausência de revolvimento do solo, a adoção de sistemas de rotação que incluam culturas com grande produção de fitomassa, seja aérea ou radicular de elevada relação C/N é fundamental para a preservação da MOS e dos teores de carbono (BAYER; MIELNICZUK, 1999; BAYER et al., 2000; SALTON et al., 2011).

Estima-se que aproximadamente 58% da matéria orgânica do solo é composta por carbono e seus benefícios para o ambiente são inúmeros, destacando-se as melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de fornecer informações importantes relacionadas a qualidade do solo e mensurar o impacto dos sistemas de manejo sobre a sustentabilidade da produção agrícola (MIELNICZUK, 2008).

Pereira et al. (2010), avaliando os teores de carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo do solo, observaram que a utilização de gramíneas, a exemplo do milho, favoreceram o incremento de CO nas camadas mais profundas do solo, provavelmente pelo sistema radicular agressivo da gramíneas.

Quanto às gramíneas é possível observar, na Figura 4 A e B, que as espécies *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* foram mais eficientes na deposição de COT no solo, para as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente. Pela elevada produção de fitomassa radicular e foliar apresentada por essas espécies, elevando o acúmulo desse elemento no solo.

Para Vieira et al. (2015), outro fator que pode influenciar no aumento dos teores de COT do solo é a presença de altas concentrações de silte a argila no solo.

Constata-se, na Tabela 1, que o Latossolo avaliado pelo presente estudo apresenta concentração média de silte a argila em algumas camadas, favorecendo a formação de agregados, que atuam na preservação do conteúdo de matéria orgânica e carbono orgânico. Bayer et al. (2006), salienta que, em condições nativas, o solo organiza-se em uma estrutura bem definida pela sua composição granulométrica, química e biológica, e que após conversão para agricultura convencional, impõe mudanças drásticas na estabilidade, refletindo em perdas significativas de MO para o ambiente, principalmente da fração protegida nos agregados do solo.

Esse fato explica a redução nítida no teor de COT do tratamento SC na profundidade de 0,10-0,20 m (Figura 4B). O revolvimento da camada superficial do solo através da capina promoveu aumento na taxa de decomposição dos resíduos do solo através da ação dos microrganismos, reduzindo assim o aporte de de carbono no solo.

O sistema de manejo onde se utiliza a cobertura permanente do solo favorece um certo nível de estabilidade, no qual as taxas de entrada e saída de carbono são iguais, favorecendo um maior acúmulo do elemento no solo. Como forma de manter o aporte constante de MOS, Santos et al. (2008) recomendam a utilização de sistemas de cobertura que possam adicionar material orgânico, proporcionando um balanço entre a adição e retirada ou perda desses elementos por meio dos sistemas de cultivo, pois os estoques de MO em qualquer agroecossistema são obtidos pela interação de fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua composição.

Geralmente, o ambiente de mata é mais estável e biodiverso e a quantidade de carbono depositado é equivalente as taxas de deposição de material sobre o solo, além da grande quantidade de fitomassa radicular decomposta em subsuperfície.

Com relação a valores elevados de COT no solo na camada superficial de 0,0-0,10 m, Brito et al. (2018) salientam que está relacionado à permanência das raízes das forrageiras em superfície, formando um microclima favorável à ação dos microrganismos. Com a utilização de gramíneas do gênero *Brachiaria*, reduz-se a necessidade de revolvimento do solo para fins de semeio,

ocasionando em melhorias nos atributos físico-hídricos do solo, além de favorecer o aporte de MOS.

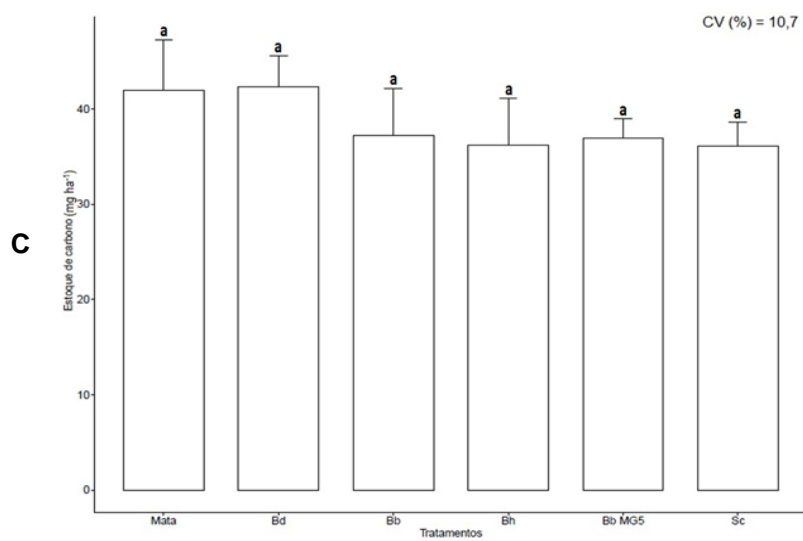
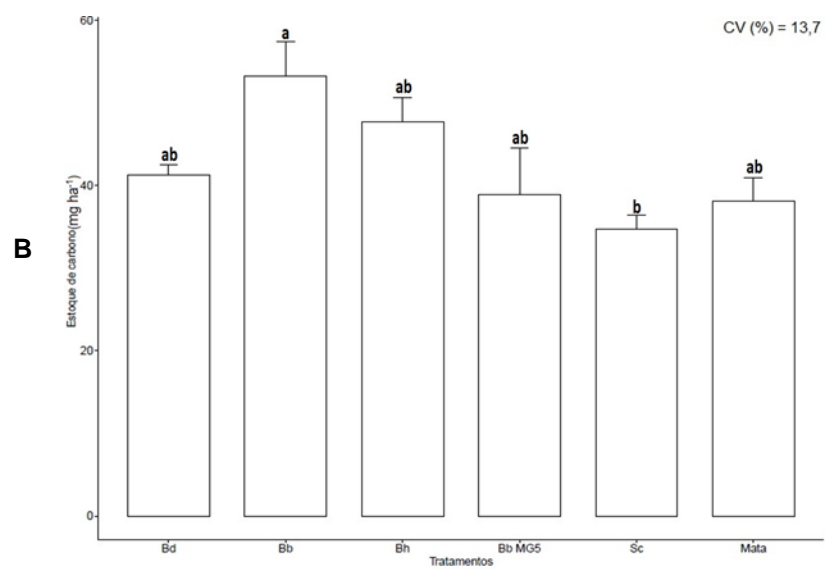
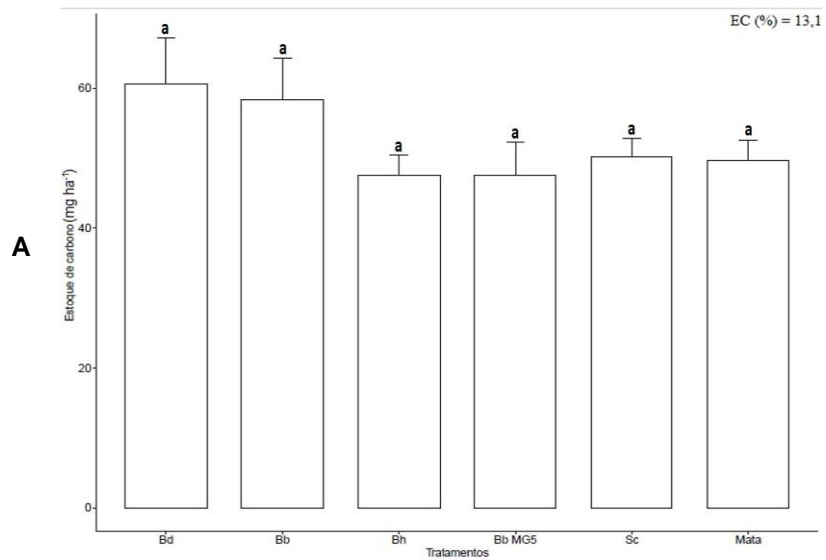
Os resultados encontrados pelo presente estudo salientam a importância em manter o solo coberto por um período de tempo prolongado, principalmente em ambientes de clima tropical, por conta da alta taxa de erodibilidade e facilidade de perda de elementos. No plantio convencional, o revolvimento do solo permite o rompimento dos agregados, além de promover maior contato entre os resíduos vegetais e o solo. Esses fatores estimulam, temporariamente, a microbiota a degradar a matéria orgânica do solo (LISBOA et al., 2012). Esse fato foi verificado no tratamento sem cobertura, que um ano após ser capinado, favoreceu a perda de carbono na camada arável de 0,10-0,20 m, uma redução de 29,27% em relação a camada de 0,0-0,10 m.

Hickmann e Costa (2012), determinando estoque de carbono em solo e agregados de um Argissolo sob diferentes manejos de longa duração, observaram que o solo manejado em relação aos que apresentavam algum sistema conservacionista, apresentaram déficit no estoque de carbono, na ordem de 1,0 Mg ha⁻¹, denotando assim a importância de manter a cobertura permanente no solo nos mais variados sistemas de produção.

As gramíneas por se adaptarem as mais variadas condições de clima e solo, torna-se uma opção viável e de rápido retorno quando se fala em melhorar as condições químicas e físicas do solo. O sistema radicular agressivo, a relação C/N, a elevada produção de biomassa e a baixa taxa de decomposição, tornam-nas uma fonte potente de carbono para o solo.

6.4.2 Estoque de carbono

Observa-se na Figura 5, que não houve variação estatística significativa para o atributo estoque de carbono (EC), para a profundidade de 0,0-0,10 e 0,20-0,30 m entre os tratamentos avaliados. Já para a camada de 0,10-0,20 m, verifica-se que houve variação significativa entre os tratamentos, destacando-se o BB com 53,2 g kg⁻¹ (Figura 5B).



BD= *Brachiaria decumbens*; BB= *Brachiaria brizantha*; BH= *Brachiaria humidicola*; BBMG5= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; SC= Sem cobertura; MT= Mata nativa. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 5. Estoque de carbono (ESTC) em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB.A) 0,0-0,10 m, B) 0,10-0,20 m e C) 0,20-0,30 m.

Na camada de 0,10-0,20 m a variação do EC entre os tratamentos foi de 53,2 g kg⁻¹ para o tratamento BB e 34,7 g kg⁻¹ para o tratamento SC. Para a camada de 0,0-0,10 cm a variação foi de 61,2 para o BD e 45,1 para o BB MG5 (Figura 5A), e para a camada 0,20-0,30 m a variação foi de 43,3 g kg⁻¹ para a MT e 36,1 g kg⁻¹ para o tratamento SC.

Quanto às gramíneas, é possível observar, na Figura 5 A e B, que as espécies *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens* foram mais eficientes na deposição do EC no solo que o MT para as camadas de 0,0-0,10, e *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* 0,10-0,20 m, possivelmente pela elevada produção de fitomassa radicular e foliar apresentada por essas espécies, elevando o acúmulo desse elemento no solo.

Os valores parecidos e até superiores ao tratamento MT para estoque de carbono nas gramíneas demonstram que a cobertura permanente das mesmas contribui positivamente ao solo e concomitantemente na melhoria dos atributos físicos. Corroborando com os dados obtidos por D'Andréa et al. (2004), os quais verificaram que na camada de 0 a 0,4 m de um Latossolo de Goiás o estoque de C em condição de pastagem com braquiária apresentava-se 14% superior maior do que o solo sob vegetação nativa.

O aumento do estoque de carbono é um processo lento e necessita de um manejo adequado, notadamente em regiões de clima tropical, onde a taxa de decomposição é mais acentuada devido às altas temperaturas e umidade do solo (SIX et al., 2002; BRITO et al., 2018).

Como não houve estudos a respeito da origem da matéria orgânica presente no solo, pode-se inferir também que os valores de estoque de carbono ainda estejam sendo influenciados pela matéria orgânica da vegetação nativa. Segundo Parron et al. (2015), em áreas de lavouras anuais o tempo padrão de

decomposição da matéria orgânica é de 20 anos. As modificações nos estoques de C normalmente ocorrem de forma não linear, onde a taxa de mudança é maior durante os primeiros anos e diminui progressivamente com o tempo.

Em relação à variabilidade espacial dos atributos, comparando-se os coeficientes de variação da análise estatística, verifica-se que a maioria dos tratamentos apresentaram baixa variabilidade, que de acordo com Gomes e Garcia (2012) é de 10%. Levando-se em consideração a classificação proposta pelos autores acima citados, os atributos que apresentaram menor variabilidade para o Latossolo foram PT, MI, Ds e GC de 0,0-0,10 m, PT, MI, Ds e GC de 0,10-0,20 m e PT, MA, MI, Ds e GC de 0,20-0,30 m (Tabela 3), θ_{CC} e θ_{PMP} de 0,0-0,10 (Tabela 4), DMPAs de 0,0-0,10 (Tabela 5), todos com CV variando de 3,2 a 9,3%, verificando-se o menor valor para o atributo PT. Esses valores indicam que são atributos que podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo, em função da alta confiabilidade apresentada (CAVALLINI et al., 2010). O maior coeficiente de variação encontrado foi para $K\theta$ na camada de 0,10-0,20 m, onde obteve 79,4%.

Nas Tabelas 7, 8 e 9, encontram-se apresentados os valores de correlação de Pearson (r), para os atributos físicos indicadores de qualidade do solo nas respectivas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m avaliadas. Os critérios de interpretação do coeficiente de correlação de linear (r) de Pearson utilizado neste estudo seguiu o proposto por (OLIVEIRA et al., 2018), sendo: $0,7 \leq r \leq 1,0$, para correlação forte; $0,4 \leq r < 0,6$, para correlação moderada; $0,1 \leq r < 0,3$ para correlação fraca e de $0,0 \leq r < 0,1$, para correlação nula. Sendo assim considerados, no devido trabalho, apenas as correlações fortes.

6.5. Correlação de Pearson (r) para atributos físicos e químicos do solo

Tabela 7. Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,0-0,10 m.

	PT	MA	MI	Ds	GC	DMPAu	DMPAs	IEA	K θ	θ CC	θ PMP	θ AD	MO	CO	EC	CAS
PT	1,00	0,77*	0,90*	-0,79*	-0,79*	-0,35*	-	-	-	-0,60*	-	-0,63*	-	-	-	0,60*
MA		1,00	0,43*	-0,71*	-0,71*	-	-	-	-	-0,51*	-	-0,45*	-	-	-	0,38*
MI			1,00	-0,62*	-0,63*	-0,45*	-	-	-	-0,40*	-	-0,58*	-	-	-	0,63*
Ds				1,00	1,00*	-	-	-	0,38*	0,60*	0,50*	0,38*	-	-	-	-0,61*
GC					1,00	-	-	-	0,38*	0,59*	0,50*	0,37*	-	-	-	-0,61*
DMPAu						1,00	-	0,83*	0,52*	-	-	-	-	-	-	-
DMPAs							1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IEA								1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
K θ									1,00	-	-	-	-	-	-	-
θ CC										1,00	0,77*	0,79*	-	-	0,38*	-0,74*
θ PMP											1,00	-	-	-	0,40*	-0,51*
θ AD												1,00	-	-	-	-0,65*
MO													1,00	1,00	0,93*	-
CO														1,00	0,93*	-
EC															1,00	-
CAS																1,00

* = Significativo a (p <0.05); (-) = Não significativo; DMPAu = Diâmetro médio ponderado de agregados úmidos; DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos; IEA = Índice de estabilidade de agregados; ADA = Argila diepersa em água; GF = Grau de floculação; θ CC = Capacidade de campo; θ PMP = Ponto de murcha permanente; θ AD = Água disponível; K θ = Condutividade hidráulica saturada; PT = Porosidade total; Ma = Macroporosidade; Mi = Microporosidade; CAS = capacidade de aeração do solo; Ds = Densidade do solo; GC = Grau de compactação.

Na Tabela 7, pode-se observar a correlação positiva entre os parâmetros porosidade total e macroporosidade (0,77), microporosidade e porosidade total (0,90), grau de compactação e densidade do solo (1,00), índice de estabilidade de agregados e diâmetro médio ponderado de agregado úmido (0,83), ponto de murcha permanente e capacidade de campo (0,77), água disponível e capacidade de campo (0,79), carbono orgânico e matéria orgânica (1,00), estoque de carbono e matéria orgânica (0,93), estoque de carbono e carbono orgânico (0,93).

Percebe-se que houve correlação negativa entre as variáveis de densidade do solo com a porosidade total (-0,79), densidade do solo com a macroporosidade (-0,71), grau de compactação com a porosidade total (-0,79), grau de compactação com a macroporosidade (-0,71), capacidade de aeração do solo e capacidade de campo (-0,74) (Tabela 7).

Sampietro et al. (2015) verificaram a redução da MA do solo com o aumento de Ds. Esse aumento de Ds pode acarretar em modificações nos atributos físico-hídricos do solo com destaque para a retenção e disponibilidade de água para as plantas. Montanari et al. (2013) verificaram que o aumento de DS promoveu queda na produção de vagens de feijão cultivado em Latossolo no estado do Mato Grosso do Sul, para eles esse fato se deve ao aumento do grau de compactação e redução de porosidade do solo.

Das variáveis analisadas, a CAS apresentou o maior número de correlações negativas com os demais atributos avaliados, destacando-se DS/CAS (-0,61), GC/CAS (-0,61), θ_{CC} /CAS (-0,74), θ_{PMP} /CAS (-0,51), θ_{AD} /CAS (-0,65). O valor de correlação positivo mais expressivo foi com a PT (0,60).

Quanto aos valores negativos, constata-se que a CAS é uma variável muito sensível as mudanças de manejo do solo, principalmente com o aumento de compactação do solo. Outro ponto observado foi o valor forte entre a capacidade de campo e a capacidade de aeração do solo (-0,74). Esse resultado demonstra que o aumento da CAS pode reduzir o volume de água armazenado no solo em função da grande quantidade de espaços porosos ocupados com ar.

A capacidade de aeração do solo pode ser considerada um sistema poroso textural, em função dos valores de correlação apresentados na Tabela 7. Pois valores de correlação positivos indicam que, quando uma variável sofre uma mudança positiva (aumento), a outra variável dependente também aumentará positivamente. E se

observarmos os valores de correlação apresentados na Tabela 7, CAS/MA (0,38) e entre CAS/MI (0,63), pode-se inferir que a capacidade de aeração do solo é dependente de certa forma do aumento de microporosidade do solo, sendo este último um atributo pouco sensível as mudanças de manejo do solo.

A CAS apresentou correlação moderada com a MA, em função de sua relação com a difusão de gases no solo. As classes de poros do solo são interligadas e a modificação de uma pode comprometer de forma positiva ou negativa a variação do outro. Principalmente os poros estruturais, por serem mais sensíveis as práticas de manejo do solo (KLEIN et al., 2008).

Alguns atributos apresentaram correlação positiva fonte $r = (1,00)$, destacando-se a DS/GC e MO/COT, porém são atributos intrinsecamente ligados e a determinação de um depende da obtenção anterior do valor de outro. Por exemplo, para determinar o grau de compactação do solo, necessita-se a obtenção dos valores de densidade do solo das camadas avaliadas. No caso do carbono orgânico total, necessita-se à obtenção prévia dos valores de carbono orgânico do solo.

Nesse caso, pode-se dizer que os valores de densidade do solo e matéria orgânica, quando determinados de forma segura, podem ser utilizados como bons indicadores de qualidade do solo, em função dos valores de correlação fortes apresentados entre eles. Quanto às variáveis relacionadas ao conteúdo de água no solo, a θ_{CC} e θ_{AD} apresentaram correlação moderada negativa apenas entre a PT, MA e MI do solo. Sendo, portanto, atributos dependentes do sistema poroso do solo.

O θ_{PMP} não apresentou valores de correlação negativa com a PT, MA e MI do solo, portanto, é uma variável menos dependente do sistema poroso do solo. Contudo, quando se observa os valores de correlação entre o θ_{PMP} e a D_s do solo, verificam-se valores moderados positivos, indicando que o aumento no conteúdo de água retido no θ_{PMP} cresce com o aumento de densidade do solo e do grau de compactação, assim como pelo aumento de θ_{CC} .

O aumento da capacidade de campo reflete no conteúdo de água no θ_{PMP} . Contudo, dependendo da amplitude de valores médios entre θ_{CC} e θ_{PMP} , quanto maior a amplitude entre essas duas variáveis para uma mesma amostra de solo avaliada, maior será o intervalo de água disponível para as plantas.

Tabela 8. Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,10-0,20 m.

	PT	MA	MI	DS	GC	DMPAu	DMPAs	IEA	K θ	θ CC	θ PMP	θ AD	MO	CO	EC	CAS
PT	1,00	0,70*	-	-1,00*	1,00*	-	-	-	0,85*	-0,69*	-0,61*	-	-	-	-	0,70*
MA		1,00	-0,53*	-0,70*	-0,70*	-	-	-	0,57*	-0,76*	-	-	-	-	-	0,59*
MI			1,00	-	-	-	-	0,42*	-	-	-	0,35*	-	-	-	-
DS				1,00	1,00*	-	-	-	-0,86*	0,69*	0,60*	-	-	-	-	-0,71*
GC					1,00	-	-	-	-0,86*	0,69*	0,60*	-	-	-	-	-0,71*
DMPAu						1,00	0,55*	0,62*	-	-	-	-	0,43	0,35	0,35*	-
DMPAs							1,00	-	0,41*	-0,36*	-	-	0,61	0,47	0,47*	-
IEA								1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
K θ									1,00	-0,55*	-0,47	-	-	-	-	0,57*
θ CC										1,00	-	0,65*	-	-	-	-0,61*
θ PMP											1,00	-0,51*	-	-	-	-
θ AD												1,00	-	-	-	-
MO													1,00	1,00	0,91*	-
CO														1,00	0,91*	-
EC															1,00	-
CAS																1,00

* = Significativo a (p <0.05); (-) = Não significativo; DMPAu = Diâmetro médio ponderado de agregados úmidos; DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos; IEA = Índice de estabilidade de agregados; ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; θ CC = Capacidade de campo; θ PMP = Ponto de murcha permanente; θ AD = Água disponível; K θ = Condutividade hidráulica saturada; PT = Porosidade total; Ma = Macroporosidade; Mi = Microporosidade; CAS = capacidade de aeração do solo; Ds = Densidade do solo; GC = Grau de compactação.

Na Tabela 8, verifica-se a correlação positiva entre os parâmetros porosidade total e macroporosidade (0,70) – grau de compactação e porosidade total (1,00) – grau de compactação e densidade do solo (1,00) – condutividade hidráulica e porosidade total (0,85) – carbono orgânico e matéria orgânica (1,00) – estoque de carbono e matéria orgânica (0,91) – estoque de carbono e carbono orgânico (0,91) – capacidade de aeração do solo e porosidade total (0,70).

Já para a correlação negativa, os parâmetros densidade do solo e porosidade total (-1,00), densidade do solo e macroporosidade (-0,70), grau de compactação macroporosidade (-0,70), condutividade hidráulica e densidade do solo (-0,86), condutividade hidráulica e grau de compactação (-0,86), capacidade de campo e macroporosidade (-0,76), capacidade de aeração do solo e densidade do solo (-0,71), capacidade de aeração do solo e grau de compactação (-0,71).

Esses dados refletem a importância de adotar sistemas de produção que promovam melhorias físicas nas camadas subsuperficiais do solo. No caso do sistema de plantio direto, onde há relatos de aumento de densidade do solo com o aumento de profundidade da camada avaliada, pode refletir de forma direta na taxa de infiltração e armazenamento de água no solo, requerendo, portanto, a adoção de técnicas compensatórias que revertam o processo de compactação nas camadas subsuperficiais do solo.

Outro valor forte negativo foi observado entre a densidade do solo e a porosidade total (-1,00), verificando-se que com o aumento de densidade do solo em profundidade, reflete negativamente na porosidade total do solo. E os reflexos dentro do sistema solo são inúmeros, observando-se redução no desenvolvimento do sistema radicular dos vegetais, redução na taxa de absorção de nutrientes e água, redução na difusão de gases no solo, além de redução na taxa de infiltração de água. Esses atributos podem ser assim utilizados como bons indicadores de qualidade do solo, como observado por Oliveira et al. (2017), trabalhando com correlação espacial entre atributos físicos do solo e produtividade de tomate industrial.

Tabela 9. Correlação de Person para atributos físicos de Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,20-0,30 m.

	PT	MA	MI	Ds	GC	DMPAu	DMPAs	IEA	K θ	θ CC	θ PMP	θ AD	MO	CO	EC	CAS
PT	1,00	0,49*	0,40*	-0,99*	-0,99*	-	-	-	0,39*	-	-	-	-	-	-0,44*	0,47*
MA		1,00	-0,60*	-0,47*	-0,47*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,36*	-
MI			1,00	-0,42*	-0,42*	0,36*	-	0,35	-	-	-0,41*	-	-	-	-	-
Ds				1,00	1,00*	-	-	-	-0,36*	-	-	-	-	-	0,45*	-0,47*
GC					1,00	-	-	-	-0,36*	-	-	-	-	-	0,46*	-0,47*
DMPAu						1,00	-	0,62*	-	-	-	0,34*	-	-	-	-
DMPAs							1,00	-0,54*	-	0,37	-	-	-0,40	-0,40*	-0,39*	-
IEA								1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Kθ									1,00	-0,49	-	-0,43*	-	-	-	0,40*
θCC										1,00	-	0,89*	-0,46	-0,46*	-0,35*	-0,84*
θPMP											1,00	-	-	-	-	-
θAD												1,00	-0,48	-0,48*	-0,39*	-0,75*
MO													1,00	1,00	0,96*	-
CO														1,00	0,96*	-
EC															1,00	-
CAS																1,00

* = Significativo a ($p < 0.05$); (-) = Não significativo; DMPAu = Diâmetro médio ponderado de agregados úmidos; DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos; IEA = Índice de estabilidade de agregados; ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; θ CC = Capacidade de campo; θ PMP = Ponto de murcha permanente; θ AD = Água disponível; K θ = Condutividade hidráulica saturada; PT = Porosidade total; Ma = Macroporosidade; Mi = Microporosidade; CAS = capacidade de aeração do solo; Ds = Densidade do solo; GC = Grau de compactação.

Na Tabela 9, observa-se a correlação positiva entre os parâmetros grau de compactação e densidade do solo (1,00), água disponível e capacidade de campo (0,89), carbono orgânico e matéria orgânica (1,00), estoque de carbono e matéria orgânica (0,96), estoque de carbono e carbono orgânico (0,96) . Já para a correlação negativa, os parâmetros densidade do solo e porosidade total (-0,99), grau de compactação e porosidade total (-0,99), capacidade de aeração do solo e capacidade de campo (-0,84), capacidade de aeração do solo e água disponível (-0,75).

A densidade do solo também foi determinante para alguns valores de correlação na camada avaliada de 0,20-0,30 m (Tabela 9). Sendo, portanto, um dos atributos de maior impacto na qualidade física do solo, assim como o grau de compactação do solo, que apresenta estreita relação com os valores de D_s . Apesar dos valores de correlação negativa, nota-se, na Tabela 3, que os valores de densidade e grau de compactação do solo ficaram abaixo do limite crítico estabelecido, como prejudicial para o desenvolvimento dos vegetais.

A capacidade de aeração do solo apresentou uma correlação forte negativa com a capacidade de campo na camada de 0,20-0,30 m, seguindo a mesma tendência das demais profundidades avaliadas. E como dito anteriormente, o aumento de espaços porosos no solo ocupados com ar, reduzem a quantidade de água armazenada, principalmente na capacidade de campo, que é o limite superior de água no solo.

O índice de estabilidade de agregados do solo não apresentou valores de correlação significativos com o conteúdo de matéria orgânica e o estoque de carbono do solo. Provavelmente pelo elevado índice de estabilidade de agregados apresentado pelo Latossolo em questão. A ausência dos resultados de correlação entre essas variáveis pode predizer que o aumento ou a redução no teor de matéria orgânica do solo não afeta a formação e o índice de estabilidade de agregados.

Contudo, na literatura existem inúmeras informações sobre a importância do teor de matéria orgânica do solo na formação de agregados. Quanto ao atributo diâmetro médio ponderado de agregados secos, o valor de correlação mais expressivo foi verificado com o índice de estabilidade de agregados (0,62) em todas as profundidades avaliadas, um valor de correlação positivo, moderado.

6.6. Análise de componentes principais

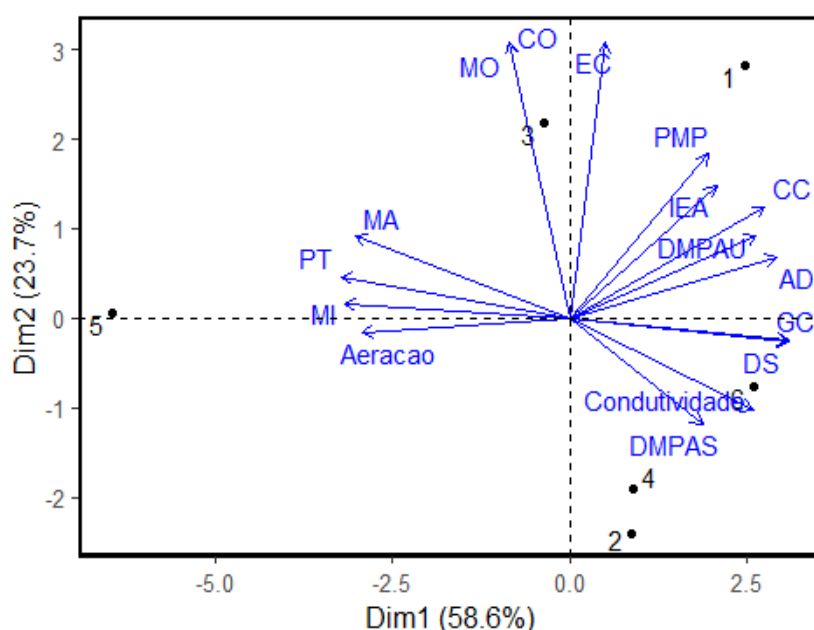
Na Tabela 10, encontram-se apresentados os valores da análise de componentes principais para a variância das variáveis analisadas. Observa-se que 82,3% da variância acumulada foi explicada pelos quadrantes 1 e 2 (Figura 6).

Tabela 10. Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia-PB. Camada de 0,0-0,10 m.

Componentes da Variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores (%)	9,372	3,795	1,657	0,922	0,254
Proporção (%)	58,573	23,719	10,358	5,761	1,590
Acumulada (%)	58,573	82,292	92,649	98,410	100,000
Variáveis	--- Correlação com os componentes principais ---				
PT	-0,322	0,072	0,018	-0,071	-0,099
Ma	-0,301	0,143	-0,200	0,030	-0,086
Mi	-0,317	0,025	0,101	-0,162	-0,190
Ds	0,308	-0,041	-0,192	0,026	0,403
GC	0,308	-0,039	-0,182	0,025	0,419
DMPAu	0,262	0,144	0,218	0,423	-0,341
DMPAs	0,186	-0,186	-0,466	0,387	-0,414
IEA	0,206	0,231	0,441	0,277	-0,134
K θ	0,257	-0,161	0,388	0,154	0,141
θ_{CC}	0,274	0,194	-0,038	-0,395	-0,075
θ_{PMP}	0,195	0,287	0,318	-0,408	-0,127
θ_{AD}	0,290	0,106	-0,197	-0,322	-0,125

MO	-0,085	0,483	-0,116	0,148	0,068
CO	-0,084	0,483	-0,116	0,148	0,068
EC	0,050	0,483	-0,191	0,142	0,194
CAS	-0,292	-0,024	0,248	0,210	0,443

PT = Porosidade total, Ma = Macroporosidade, Mi = Microporosidade, Ds = Densidade do solo, K θ = Condutividade hidráulica saturada, GC = Grau de compactação, DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos, DMPAu = Agregados úmidos, IEA = Índice de estabilidade de agregados, θ CC = Capacidade de campo, θ PMP = Ponto de murcha permanente, θ AD = Água disponível, CAS = Capacidade de aeração do solo.



1= *Brachiaria decumbens*; 2= *Brachiaria brizantha*; 3= *Brachiaria humidicola*; 4= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; 5= Sem cobertura; 6= Mata nativa.

Figura 6. Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,0-0,10 m.

Para a profundidade de 0,0-0,10 m, constatou-se a maior proporção de autovalores acumulados para o componente 1 (*Brachiaria decumbens* - 9,372) e o componente 2 (*Brachiaria brizantha* - 3,795). O maior número de variáveis

localizaram-se no quadrante 1, destacando-se o estoque de carbono, ponto de murcha permanente, índice de estabilidade de agregados, capacidade de campo, água disponível e diâmetro médio ponderado de agregados úmidos.

Apesar da proximidade com o eixo principal (x), as variáveis que apresentaram valores consideráveis de correlação para o componente 5 foram a macroporosidade, a porosidade total, a microporosidade e capacidade de aeração do solo. Pode-se observar que todas as variáveis fazem parte do sistema poroso do solo e, uma possível explicação para haver uma aproximação dessas variáveis com o componente 5 (SC) deve ter sido o revolvimento da camada superficial do solo para fins de capina. Quanto aos valores de correlação para esses atributos, destaca-se IEA (0,206), DMPAU (0,262), θ_{CC} (0,274), θ_{AD} (0,290), θ_{PMP} (0,195) e EC (0,050).

Contudo, na Figura 6, a maioria das variáveis se concentraram no lado direito do gráfico, e na parte superior dos quadrantes. Uma possível explicação para concentração desses dados em uma parte do quadrante é a manutenção do sistema de cobertura com gramíneas ao longo de treze anos sem nenhum tipo de intervenção, a não ser a realização de capinas entre as parcelas.

O componente 6 (mata), utilizado como referência não aparece na Tabela 10, com os respectivos valores de correlação. Contudo, observa-se que para esse componente principal, as variáveis com o maior percentual de acúmulo foram a condutividade hidráulica saturada e o diâmetro médio ponderado de agregados secos.

Apesar do componente 1 (*Brachiaria decumbens*) ter apresentado valores bons para atributos físicos de solo na Tabela 3, verifica-se que na análise de componentes principais (ACP), os mesmos atributos apresentaram valores de correlação negativos, por isso o distanciamento em relação ao eixo e ao quadrante 1. Os valores de correlação para essas variáveis estão apresentados na Tabela 10, destacando-se a PT (-0,322), MA (-0,301), MI (-0,317), MO (-0,085), CO (-0,084) e CAS (-0,292). Por isso do distanciamento com o quadrante 1.

A análise de componente principais, diferentemente da análise de variância, enquadra atributos dentro de um mesmo tratamento, que apesar de não apresentaram diferença estatística significativa, em alguns casos, foram superiores em um determinado tratamento. No caso na análise de componentes principais para a profundidade de 0,0-0,10 m, pode-se afirmar que os tratamentos com o maior número de variáveis acumuladas foram o T1 BB e o T6 MT. Quanto os maiores autovalores

de correlação com os componentes principais, observa-se (0,483) para os atributos MO, CO e EC, para o componente 2, no quadrante 4.

Quanto aos autovalores de correlação negativa, destaca-se a variável diâmetro médio ponderado de agregados secos com (-0,466) para o componente 3 (*Brachiaria humidicola*). Outro fato a ser verificado é que a variação dos componentes principais na Tabela 10 foi maior no componente 5 em relação dos demais. Explicando assim que a intervenção antrópica, mesmo que recente, pode afetar negativamente ou positivamente a variabilidade de atributos dentro do sistema.

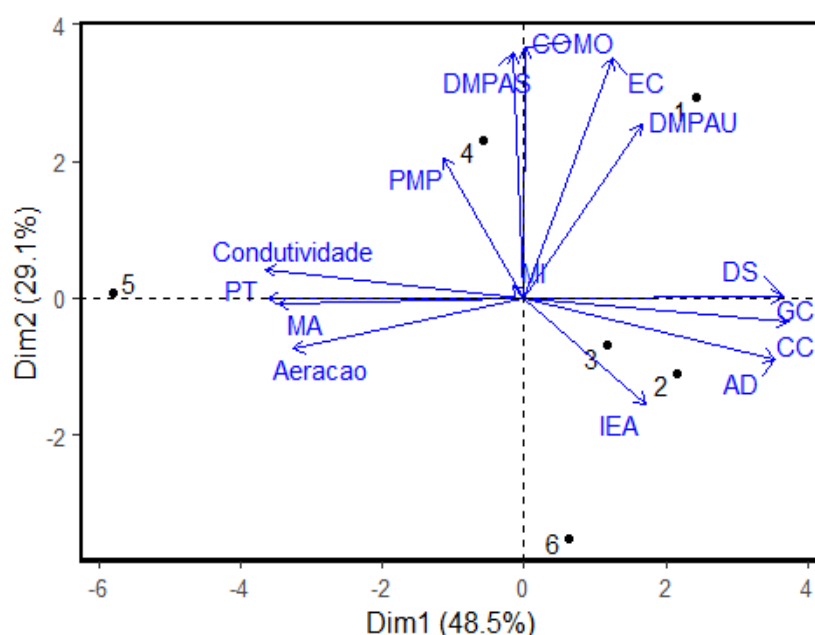
Na Tabela 11, encontram-se os autovalores da análise de componentes principais para os atributos físicos de solo na camada de 0,10-0,20 m. Verifica-se que 77,6% dos componentes principais foram explicados pelos quadrante 1 e 2.

Tabela 11. Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia-PB. Camada de 0,10-0,20 m.

Componentes da Variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores (%)	7,756	4,661	2,668	0,505	0,409
Proporção (%)	48,475	29,133	16,674	3,159	2,559
Acumulada (%)	48,475	77,608	94,281	97,441	100,000
Variáveis	--- Correlação com os componentes principais ----				
	1	2	3	4	5
PT	-0,343	-0,001	0,133	-0,064	0,299
Ma	-0,329	-0,011	-0,163	0,028	0,459
Mi	-0,015	0,020	0,591	-0,184	-0,332
Ds	0,346	0,001	-0,136	0,007	-0,203
GC	0,346	0,001	-0,136	0,007	-0,203
DMPAu	0,156	0,311	0,283	0,379	0,414
DMPAs	-0,014	0,438	-0,164	-0,184	0,177

	IEA		0,163	-0,190	0,427	0,514	0,083
K θ	-0,347	0,051	0,054	-0,143	-0,293		
θ CC	0,355	-0,042	-0,015	-0,023	0,175		
θ PMP	-0,108	0,250	-0,377	0,628	-0,294		
θ AD	0,336	-0,108	0,093	-0,198	0,235		
MO	0,001	0,448	0,148	-0,075	-0,034		
CO	0,001	0,448	0,148	-0,075	-0,034		
EC	0,118	0,429	0,101	-0,047	-0,092		
CAS	-0,309	-0,091	0,263	0,219	-0,161		

PT = Porosidade total, Ma = Macroporosidade, Mi = Microporosidade, Ds = Densidade do solo, K θ = K θ Condutividade hidráulica saturada, GC = Grau de compactação, DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos, DMPAu = Agregados úmidos, IEA = Índice de estabilidade de agregados, θ CC = Capacidade de campo, θ PMP = Ponto de murcha permanente, θ AD = Água disponível, CAS = Capacidade de aeração do solo.



1= *Brachiaria decumbens*; 2= *Brachiaria brizantha*; 3= *Brachiaria humidicola*; 4= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; 5= Sem cobertura; 6= Mata nativa.

Figura 7. Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,10-0,20 m.

Para a profundidade de 0,10-0,20 m, observa-se que o percentual de autovalores acumulados foram 7,756 para o componente 1 (*Brachiaria decumbens*), 4,661 para o componente 2 (*Brachiaria brizantha*) e 2,668 para o componente 3 (*Brachiaria humidicola*). Na Figura 7, houve uma dispersão das variáveis em relação ao eixo principal, diferentemente da profundidade de 0,0-0,10 m, onde as variáveis apresentaram uma tendência de agrupamento em relação ao eixo principal.

Considerando o número de variáveis agrupadas no quadrante 1, CO, MO, EC e DMPAu foram mais representativas para o componente principal (1), enquanto o IEA, θ AD, θ CC, GC e Ds, tenderam a se agrupar nos componentes principais (2 e 3).

Quanto aos valores de correlação com os componentes principais para as variáveis, destacam-se CO (0,001), MO (0,001), EC (0,118), DMPAu (0,156) no quadrante 1 e IEA (-0,190), θ AD (-0,108), θ CC (-0,042), GC (0,001) e Ds (0,001), nos quadrantes 2 e 3 (Tabela 10).

Assim como na camada superficial, na profundidade de 0,10-0,20 m, as variáveis que mais se aproximaram do componente principal 5 (SC) foram a condutividade hidráulica saturada ($K\theta$), porosidade total, macroporosidade e microporosidade. A porosidade de aeração também se aproximou do componente 5, como observado no quadrante 3, (Figura 7), contudo, o valor de correlação para esse componente foi de (-0,293), um pouco distante.

Apesar da dispersão das variáveis, percebe-se que a maioria ficou distribuída na parte direita do gráfico, sob influência dos componentes 1, 2 e 3. Nesse contexto, a análise de componentes principais ajuda de certa forma a enquadrar as principais variáveis que apresentam certo nível de correlação com os tratamentos avaliados. Ou seja, elas deixam de se correlacionar entre si (variável-variável) para se correlacionar com um componente em estudo, um tratamento (HONGYOU et al., 2015).

Quanto as variáveis que apresentaram maior representatividade dentro do conjunto de dados, destacam-se a CAS (0,319) e PT (0,308) no componente principal um (1) e o DMPAs (0,432), θ PMP (0,4120 e EC (0,376) no componente principal dois (2). Apesar de explicar apenas 16,67% da análise de variância das variáveis analisadas, percebe-se os valores mais elevados de correlação para o componente quatro (*Brachiaria brizantha* MG5), com 0,628 para a capacidade de campo e 0,514 para o índice de estabilidade de agregados.

Em contrapartida, constata-se que na profundidade de 0,10-0,20 m (Figura 7), as variáveis se distanciaram um pouco do componente 6 (Mata), talvez pelo grau de estabilidade do sistema em relação aos demais tratamentos avaliados.

Na Tabela 12, encontram-se apresentados os valores da análise de componentes principais para a profundidade de 0,20-0,30 m, e verifica-se que 77,3% da variância foi explicada pelos quadrantes 1 e 2.

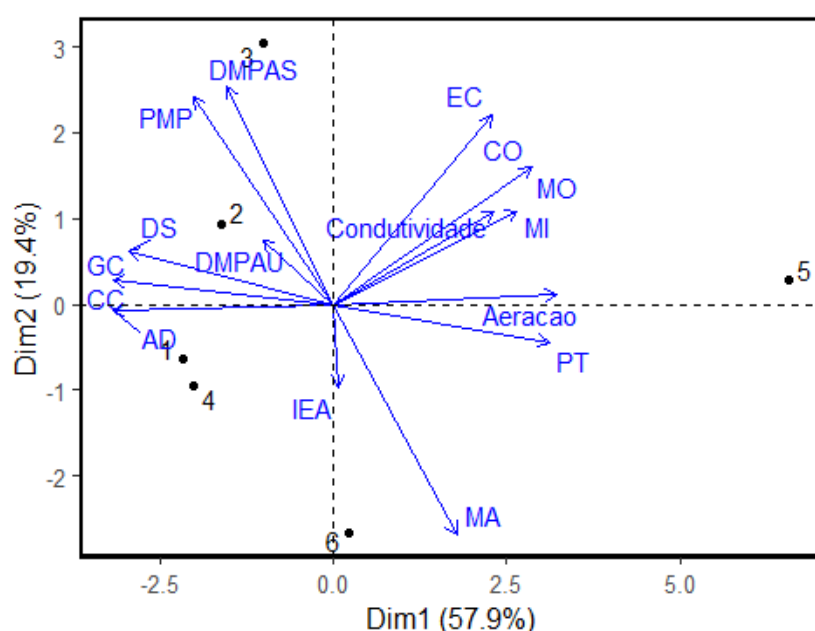
Tabela 12. Autovalores da análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia-PB. Camada de 0,20-0,30 m.

Componentes da Variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores (%)	9,269	3,106	2,142	1,149	0,333
Proporção (%)	57,932	19,414	13,387	7,184	2,083
Acumulada (%)	57,932	77,346	90,734	97,917	100,000

Variáveis	--- Correlação com os componentes principais ---				
PT	0,308	-0,007	0,153	-0,209	0,035
Ma	0,176	-0,457	-0,151	0,055	0,147
Mi	0,262	0,184	0,274	-0,283	-0,046
Ds	-0,290	0,104	-0,176	0,315	-0,056
GC	-0,290	0,104	-0,176	0,315	-0,056
DMPAu	-0,099	0,128	0,599	0,215	-0,319
DMPAs	-0,150	0,432	-0,028	-0,314	-0,524
IEA	0,007	-0,164	0,576	0,419	0,062
K θ	0,230	0,184	-0,325	0,364	-0,270
θ_{CC}	-0,312	0,047	0,072	-0,227	0,219
θ_{PMP}	-0,198	0,412	0,049	-0,046	0,540
θ_{AD}	-0,313	-0,011	0,072	-0,242	0,157

MO	0,283	0,272	0,019	0,086	0,209
CO	0,283	0,272	0,019	0,086	0,209
EC	0,226	0,376	-0,036	0,239	0,199
CAS	0,319	0,019	-0,053	-0,188	-0,143

PT = Porosidade total, Ma = Macroporosidade, Mi = Microporosidade, Ds = Densidade do solo, K θ = Condutividade hidráulica saturada, GC = Grau de compactação, DMPAs = Diâmetro médio ponderado de agregados secos, Au = Agregados úmidos, IEA = Índice de estabilidade de agregados, θ CC = Capacidade de campo, θ PMP = Ponto de murcha permanente, θ AD = Água disponível, CAS = Capacidade de aeração do solo.



1= *Brachiaria decumbens*; 2= *Brachiaria brizantha*; 3= *Brachiaria humidicola*; 4= *Brachiaria brizantha* MG5 cv Vitória; 5= Sem cobertura; 6= Mata nativa.

Figura 8. Análise de componentes principais em Latossolo sob diferentes coberturas em experimento de longa duração do brejo paraibano. Areia- PB. Camada de 0,20-0,30 m.

E com a análise dos componentes principais, identifica-se que 9,26% dos autovalores ficaram acumulados no componente um, já no componente principal dois, houve o enquadramento de 3,10% dos autovalores acumulados. Observa-se que

houve uma dispersão das variáveis com maior número de concentração nos quadrantes 1 e 2 (Tabela 12).

Quanto ao número de variáveis influenciadas pelos diferentes sistemas de cobertura do solo, registra-se que a macroporosidade foi a mais representativa para o tratamento MATA na profundidade avaliada de 0,20-0,30 m, diferenciando dos demais sistemas de cobertura que apresentaram a maior quantidade de variáveis acumuladas. A possível explicação para a aproximação entre a MA e o tratamento MATA pode estar relacionada a elevada estabilidade de agregados apresentada nas três camadas de solo avaliadas, favorecendo a formação e manutenção de espaços porosos de maior diâmetro em subsuperfície.

O tratamento *Brachiaria humidicola* (3) exerceu maior influência sobre as variáveis DMPAs (-0,028) e θ PMP (0,049), como observado no quadrante dois. O tratamento *Brachiaria brizantha* (2) exerceu influência sobre a Ds (0,104), GC (0,104), DMPAu (0,128) e θ CC (0,047). Contudo observa-se que de todos os componentes principais avaliados, o componente 5 (Sem cobertura) foi o que apresentou o maior número de variáveis acumuladas, destacando-se EC (0,199), CO (0,209), MO (0,209), MI (-0,046), K θ (-0,270) e CAS (-0,143).

O maior número de variáveis enquadradas no componente principal cinco podem estar relacionadas ao revolvimento do solo durante a capina manual do tratamento sem cobertura. Pereira et al. (2010), trabalhando com análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob pastagem e mata, observaram que houve a formação de um pequeno ângulo entre a macroporosidade e a porosidade total do solo. Para eles, a formação do ângulo entre as variáveis deveu-se a sensibilidade que os mesmos apresentam ao impacto sobre o solo, principalmente, se for ocasionado pela compactação.

Outro fato é a interligação entre a porosidade total e a macroporosidade do solo, já que o volume total de poros é composto pelo somatório das demais classes de poros que compõem a matriz do solo. Na Figura 8, nota-se a formação de ângulo entre as variáveis DS, GC, θ CC e θ AD, no quadrante 2, possivelmente pela forte correlação apresentadas por esses atributos, principalmente relacionada à retenção de água no solo.

Já para a importância das variáveis dentro da análise de componentes principais, nota-se que as maiores setas foram representadas pelas variáveis

macroporosidade, ponto de murcha permanente, diâmetro médio ponderado de agregados secos, estoque de carbono, matéria orgânica do solo e porosidade total. A maioria são atributos sensíveis ao manejo do solo, e a manutenção de gramíneas ao longo dos treze anos favoreceu em mudanças nos atributos físicos e químicos do solo.

Manter a qualidade física e química do solo sob sistemas de manejo conservacionistas é de grande importância para a produção de alimentos sem grande impacto ao ambiente, e a análise de componentes principais facilitou de certa forma a delimitar quais as variáveis que foram mais sensíveis dentre todos os componentes avaliados (tratamentos).

7. CONCLUSÕES

- Conclui-se que houve melhoria para os atributos de capacidade de campo, água disponível, capacidade de aeração do solo, microporosidade, porosidade total, carbono orgânico e estoque de carbono;
- O tratamento da *Brachiaria brizantha* destacou-se diante das demais gramíneas, sendo ela aconselhada para a utilização pelos produtores;
- Após treze anos de adoção do sistema de manejo com gramíneas houve melhorias significativas para os atributos físicos e teores de carbono do solo em relação ao tratamento testemunha (Mata), destacando-se o tratamento *Brachiaria brizantha*.

8. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 29: 415-424, 2005.

ALCANTARA, P. B. Origem das braquiárias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO *BRACHIARIA*, 1986, Nova Odessa, SP. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1987. p.1-18.

ALMEIDA, D. J.; SILVA, I. F.; SILVEIRA, F. P. M.; SANTIAGO, R. D.; COSTA, J. R. C. Poaceae cespitosa e decumbente adubadas com NPK: Efeitos na agregação do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 50-55, 2014.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

ALVES, R. N.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO I. H.; PEREIRA, W. E. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1107-1114, 2011.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.

ASSIS, E. B.; NUNES, M. C. M.; BARELLI, M. A. A.; SEABRA JÚNIOR, S.; SERAFIM, M. E. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1669. 2014

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. S. Atributos físicos do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BARROS, J. H. F. de. **Cultivo da cana-de-açúcar: efeitos nas propriedades físicas e químicas de uma Terra Roxa Estruturada Eutrófica**. Areia-PB: Universidade Federal da Paraíba, 1998. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. 1998.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.1, 2005.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L.; BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J. ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficient of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Till. Res.**, 91:217-226, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In.: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, N. 3, p.599-607, 2000.

BEEFPOINT. **Perfil da Pecuária no Brasil – Relatório Anual 2016**. Disponível em: <<https://www.beefpoint.com.br/perfil-da-pecuaria-no-brasil-relatorio-anual-2016/>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

BELOTTI, F. **Perda de solo por erosão na agricultura: A importância das técnicas de manejo e conservação dos solos**. Belo Horizonte-MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos vermelhos para a produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolo sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 975-983. 2008.

BRAGA, M. B.; MAROUELLI, W. A.; RESENDE, G. M.; MOURA, M. S. B.; COSTA, N. D.; CALGARO, M.; CORREIA, J. S. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 147-153, 2017.

BRANDÃO, E. D. **Degradação do solo em áreas de pastagens na microrregião do brejo paraibano**. Areia-PB: Universidade Federal da Paraíba. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. 2013.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1939-1948, 2011.

BRITO, M. R.; SIQUEIRA, F. L. T.; SOUSA, I. J. A.; SOUSA, R. N. Estoques de carbono no solo sob diferentes condições de Cerrado. **Revista Desafios**, Palmas, v. 5, n. 3, p. 1-11, 2018.

CALONEGO, J. C; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, L. M.; BARBOSA, S. M.; SILVA, E. A. Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 3, p. 284- 291, 2013.

CARDUCCI, C.E.; OLIVERIA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

CARMO, F. F.; FIGUEIRÊDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, A.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, J. S.; KUNDE, R. J.; STÖCKER, C. M.; LIMA, A. C. R.; SILVA, J. L. Evolução de atributos físicos, químicos e biológico sem solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1131-1139, 2016.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria Brizantha* e atributos físicos de um latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.34, n.4, p. 1007-1015, 2010.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alteração nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.

.

COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D, V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORREIA, G. G. et al. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 156-162, 2008.

CORTEZ, J. W.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; ARCOVERDE, S. N. S.; OLSZEWSKI, N. Atributos físicos do solo em sistemas de adubação e de manejo de resíduos culturais em plantio direto. **Agrarian**, Dourados, v.11, n.42, p.343-351, 2018.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P. Movimento de água e porosidade do solo de uma sub-bacia hidrográfica localizada no noroeste do estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 304-318, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono orgânico na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

CRISPIM, S. M. A.; BRANCO, O. D. **Aspectos gerais das Braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 27p. (Boletim Técnico, n. 33).

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, p.1-7, 2002.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DANTAS, J. D. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejos no perímetro irrigado Jaguaribe, Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 18-26, 2012.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DIAS JÚNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 45-51, 1999.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, 402).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação do solo – Sibics**. 3. Ed. Brasília: Embrapa, 2013. 306 p.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Comunicado Técnico, 69).

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. van (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF. (Circular Técnica, 171). 12p.1989.

GHISI, O. M. A. A. *Brachiaria* na pecuária brasileira: Importância e perspectivas. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2., 1991, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1991. 356p.

GUBIANI, P. I.; VAN LIER, Q. J.; DRESCHER, M. S.; MEZZAMO, C.; VEIGA, C. M. C. Relação dentre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANELLI, A.; MENECHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B.; MORINGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, 2012.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 413p.

HONGYU, U. K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, G. J. Principal componente analysis: Theory, interpretation and applications. **Engineering ad Science**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2015.

IGNARO NETTO, I.T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo agropecuário 1920/2006**. 2007. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 26-32, 2006.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B. da; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n 1, p. 33-40, 2012.

LIMA, C. L. R.; VELLAR, R. M. L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; TUCHTENHAGEN, I. K.; PANZIERA, W. Mechanical parameters of a constructed soil under diferente machinery trafficintensities in South of Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 2, e5535, 2018.

LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. F.; CORRÊA, M. M.; LIRA, C. A. B. O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 599-605, 2014.

VASCONCELOS, R. F.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIR, V. S.; SILVA, Y. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 639-648, 2010.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

LONDE, P. R.; BITAR, N. A. B. Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG). **Perquirere, Patos de Minas: UNIPAM**, v. 8, n. 2, p. 224-249, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema de integrado de

produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44. n. 2, p. 68-75, 2009.

LUCAS, A. A. T.; FRIZZONE, J. A.; COELHO FILHO, M. A. Características de distribuição radicular de maracujazeiro sob fertirrigação. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 245-801, 2002.

MACEDO, M. C. M. Degradação de Pastagens: Conceitos e Métodos de Recuperação. In: **Anais do Simpósio Sustentabilidade da Pecuária de Leite no Brasil**. In: VILELA, D.; MARTINS, C. E.; BRESSAN, M.; CARVALHO, L. A (Eds.). Embrapa Gado de Leite, 1999. p.137-150.

MARTINKOSKI, L.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F.; VOGEL, G. F.; SILVA, E. F. Climate effect on the growth of *Araucaria angustifolia* in silvopastoral system and forest in the secondary stage. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.10, n. 3, p.57-66, 2017.

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A.; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n.7, p.1183-1190, 2009.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T.; CENTURIO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.

MELO, V. F.; SILVA, D. T.; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290p.

MIELNICZUK J. Matéria orgânica e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: SANTOS GA et al. Eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole. p. 1- 5. 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Exportações do agronegócio garantiram superávit da balança comercial**. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/exportacoes-do-agro-garantiram-superavit-da-balanca-comercial>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC - agricultura de baixa emissão de carbono**. 13/12/2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 15 de mar. 2019.

MONTANARI, R.; PELLIN, D. M. P.; SILVA JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, M. P.; GIOIA, M. T.; DALCHIAVON, F. C.; GONZÁLEZ, A. P. Correlação entre a produção de feijão e atributos físicos de um Latossolo em Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 772-784, 2013.

MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Global Science and technology**, Rio Verde, v. 05, n. 03, p. 162–169. 2012.

MUNNER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability: Mechanisms and models. **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, n. 2, p. 411-423, 1989.

NOGUEIRA JÚNIOR, L. R. **Caracterização de solos degradados pela atividade agrícola e alterações biológicas após reflorestamentos com diferentes associações de espécies da mata atlântica**. Piracicaba-SP: Universidade de São

Paulo, 2006. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2006.

OLIVEIRA, B. S.; CARVALHO, M. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R.; SILVA, V. P.; BAREA, M. Atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Espacios**, Bogotá, v. 38, n. 4, p. 8-20, 2017.

OLIVEIRA, D. G.; REIS, E. F.; MEDEIROS, J. C.; MARTINS, M. P. O. UMBELINO, A. S. Correlação espacial de atributos físicos do solo e produtividade do tomate industrial. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2018.

OLIVEIRA, D. M. S.; LIMA, R. P.; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos de suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 280-285, 2015.

OLIVEIRA, I. A.; LIMA, J. R. S.; SILVA, I. F.; ANTONINO, A. C. D.; GOUVEIA NETO, G. C.; LIRA, C. A. B. O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, p. 185-191, 2009.

OLIVEIRA, R. S. et al. Atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Espacios**, Bogotá, v. 38, n. 4, p. 8-20, 2017.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130023/1/Lucilia-LivroServicosAmbientais-Cap7.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. 2019.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

PEREIRA, S. A.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. **Gobal Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 2, p. 87-97, 2010.

PIGNARO NETTO, I.T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, 2009.

PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em Argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

RAMOS, F. T.; MAIA, J. C. S.; ROQUE, M. W.; AZEVEDO, E. C. Qualidade física de um Neossolo Quartzarênico estimada via índice S e área sob a curva. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2543-2561, 2014.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.49-134.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, M. J.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de Densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W. O.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clayloam soil. **Soil & Tillage Research**, Oxford, v. 150, n. 10, p. 316-330, 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 4. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2002. 338 p.

REZENDE, J. O. **Plantio direto de citros: mito ou realidade?** Revista Bahia Agrícola, v. 4, n. 1, p. 72-85, 2013.

REZENDE, J. O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Série estudos agrícolas, 1. ed. Salvador: SEAGRI, 117 p. 2000.

REZENDE, J.O.; MAGALHÃES, A.F.J.; SHIBATA, R.T.; ROCHA, E.S.; FERNANDES, J.C.; BRANDÃO, F.J.C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões**. SEAGRI/SPA, Salvador, Brasil. 97 p. 2002.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167- 1175, 2007.

ROSA, S. F. Propriedades físicas e químicas de um Argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa gaúcho. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 580-550, 2018.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 27: 389-393, 2003.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOZO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BOCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1343-1356, 2011.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S.; REICHERT, J. M. Compactação causada pelo tráfego de *Felles Buncher* e *Skilder* em um Neossolo Regolítico sob distintas umidades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 239-248, 2015.

SANTOS FILHO, G. Producción de semillas: El punto de vista del sector privado brasileño. In: MILES, J.W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Eds.). **Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento**. Campo Grande: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1998. p.156-162.

SANTOS, C. H. **Alterações no estoque de carbono, na dinâmica da matéria orgânica e dos atributos químicos e físicos induzidas por diferentes usos dos solos de Colorado do Oeste-RO**. Cuiabá-MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2008. 76f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. P. C. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Latossolos amarelos**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjywi02wx5ok0q43a0r58asu5l.html>. Acessado em: 15 de mar. 2019.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G.; Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, 2007.

SILVA, C. A. T.; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de Latossolos e práticas de manejo agrícola para a conservação do solo: Revisão. **Revista Varia Scientia Agraria**, Marechal Cândido Rondon, v. 2, n. 2, p. 153-164, 2012.

SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. B. B. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos de curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “índice s”. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n.3, p. 113-117, 1997.

SILVA, J. M.; PASSOS, A. L. R.; BELTRÃO, F. A. S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 103-118. 2009.

SILVA, P. L. F da.; OLIVEIRA, F. P.; BORBA, J. O. M; TAVARES, D. D.; AMARAL, A. J.; MARTINS, A. F. Solos arenosos para Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 13, n. 5, p. 581-589, 2018.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.9-15, 2002.

SILVA, W.; SILVEIRA, A. M. E.; TAVARES, R.; MARTINS, G. S.; LIMA, J. S. Cobertura do solo com material orgânico no desenvolvimento inicial de sorgo forrageiro. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 5, n. 9, p. 122-129, 2018.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo

distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SOARES FILHO, C. V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.25-48.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Bioma Cerrado: Latossolos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 15 de mai. 2019.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 337-341, 2002.

SOUZA, L. S.; VELINI, E. D.; MAIMOMI-RODELLA, R. C. S.; MARTINS, D. Teores de macro e micronutrientes e a relação C/N de várias espécies de plantas daninhas. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 163-167, 1999.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A.; ÁVILA, A. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1079-1093, 2009.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, n. 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

TISDALL, J. M.; COCKROFT, B.; UREN, N. C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical dispersion. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 16, n. 1, p. 9-17, 1978.

TORMENA, C. A., BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

VAN LIER, Q. de J.; GUBIANI, P.I. Beyond the “Least Limiting Water Range”: rethinking soil physics research in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.925-939, 2015.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, I. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 34, n. 3, p. 639-648, 2010.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 1, p. 175-180, 1994.

VEPRASKAS, M.J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R. (Ed.). **Plant Environment Interactions**. New York: M. Dekker, p. 263-287. 1994.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; JARDINI, D. C. Distribuição de carbono orgânico e do nitrogênio total nas frações granulométricas de um Latossolo sob diferentes tipos de vegetação. **REA- Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 17, n. 1, p. 43-53, 2015.

VILELA, H. **Série gramíneas tropicais: Gênero *brachiaria* (*Brachiaria brizantha* cv MG5, vitória – capim)**. 2009. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_mg5.htm>. Acesso em: 05 mai. 2019.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, supl., p. 256-265, 2012.

WENDLING, P.; JUKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.